

ANALISIS TEGANGAN PADA PIPA BAWAH LAUT AKIBAT TARIKAN JANGKAR

Yuniarti Karina Pumpun¹ dan Ricky Lukman Tawekal²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

¹yuniarti.karina@gmail.com dan ²ricky@ocean.itb.ac.id

PENDAHULUAN

Pipa bawah laut atau jaringan pipa bawah laut merupakan salah satu media transportasi untuk mengalirkan minyak dan gas bumi dari wilayah pengeboran di lepas pantai menuju ke daratan ataupun dari suatu daratan ke daratan lain yang terpisah oleh lautan. Performansi dari pipa bawah laut sangatlah penting. Jika terjadi suatu kegagalan dalam proses instalasi, sistem tes maupun saat operasi, akan menimbulkan kerugian yang besar, bukan hanya dari segi ekonomi tetapi juga segi lingkungan hidup. Untuk meminimalkan hal tersebut perlu dilakukan perhitungan dan analisis yang cermat dalam perencanaan pipa bawah laut.

Idealnya pipa bawah laut tidak disarankan untuk digelar pada daerah alur pelayaran, tetapi seringkali hal tersebut tidak dapat dihindarkan. Sebagai konsekuensinya, pipa bawah laut memiliki risiko akibat aktivitas pelayaran, antara lain : kejatuhan jangkar (*drop anchor*), tarikan jangkar (*drag anchor*), kapal tenggelam (*vessel sinking*), dan pukat nelayan (*trawling*). Tugas akhir ini akan menganalisis respon pipa bawah laut terhadap tarikan jangkar (*drag anchor*).

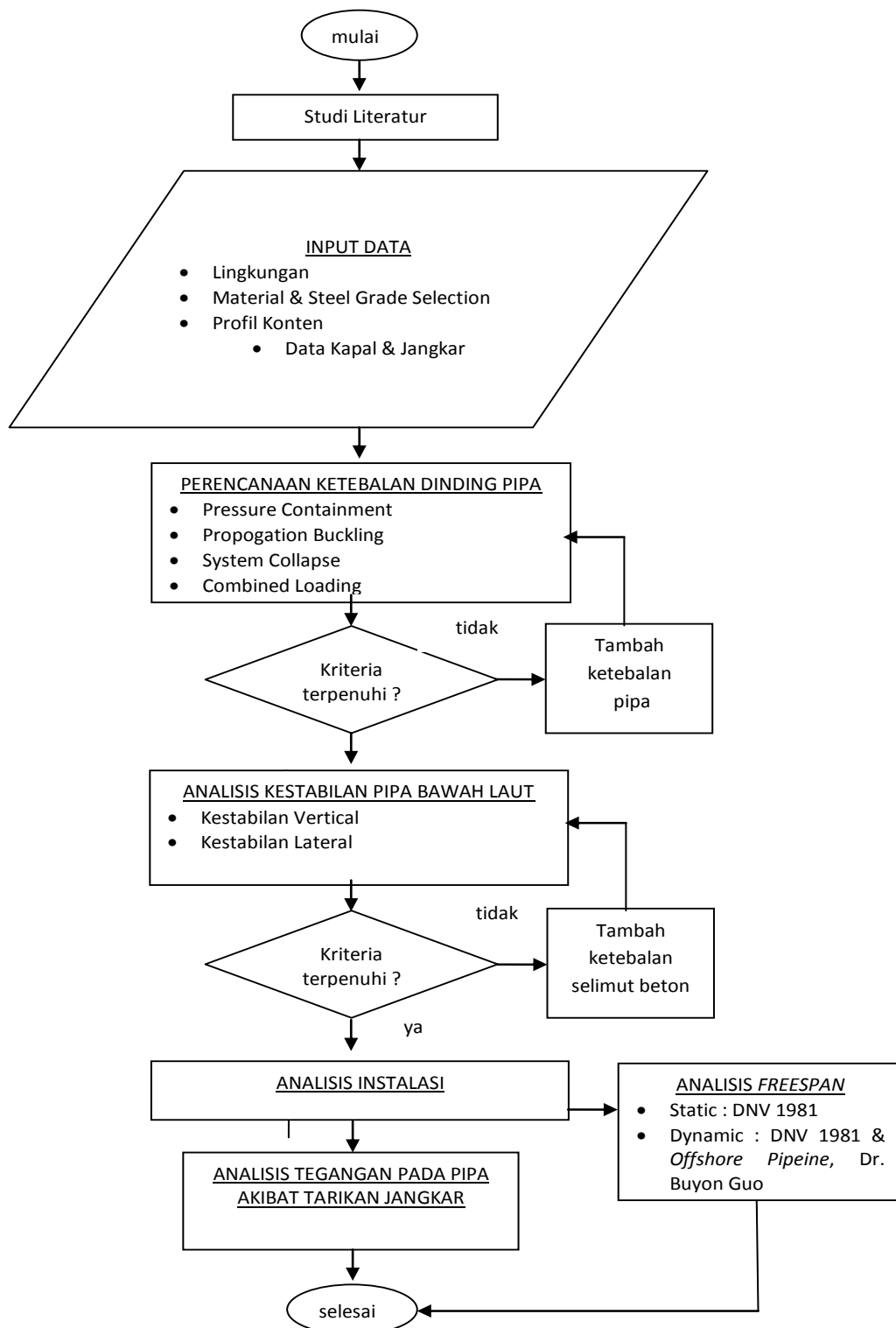
Tujuan dari pengerjaan Tugas Akhir ini ialah :

- 1) Menentukan tebal dinding pipa bawah laut berdasarkan analisis *wall thickness*.
- 2) Menentukan tebal selimut beton berdasarkan analisis *on bottom stability*.
- 3) Melakukan analisis instalasi pipa bawah laut.
- 4) Menentukan nilai bentang bebas yang diijinkan (*allowable freespan*).
- 5) Melakukan analisis tegangan pipa bawah laut akibat tarikan jangkar.

Adapun metodologi pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.

TEORI DAN METODOLOGI

Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Metodologi Penerjaan Tugas Akhir

Tahap awal pengerjaan Tugas Akhir ini ialah penghitungan ketebalan dinding pipa. Dimana perhitungan dilakukan dengan mengacu pada DNV RP OS F101. Berdasarkan *DNV OS F101 SUBMARINE PIPELINE SYSTEMS*, tahun 2010 ada beberapa kriteria yang harus dipenuhi dalam penentuan ketebalan dinding pipa. Kriteria-kriteria yang dimaksud adalah : *Pressure Containment, Propagation Buckling, System Collapse, Combined Loading*.

- *Pressure Containment*

Dalam kriteria ini, pipa dimaksudkan untuk dapat menahan tekanan internal dari tekanan desain serta tekanan dari konten yang mengalir dalam pipa. Hal ini dimaksudkan agar pipa tidak mengalami kegagalan berupa kebocoran (*bursting*). Adapun syarat yang harus dipenuhi dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$P_{lx} - P_e \leq \frac{P_b(t)}{\gamma_m \gamma_{SC}} \quad (1)$$

Dimana :

P_{lx} = P_{li} untuk kondisi operasi, dan

P_{lx} = P_{lt} untuk kondisi sistem tes

P_{li} = tekanan lokal insidental

P_{lt} = tekanan lokal tes

P_e = Tekanan eksternal yaitu tekanan hidrostatik yang bekerja pada pipa

P_b = tahanan *pressure containment* pipa

γ_m = faktor resistansi material

γ_{SC} = faktor resistansi kelas keamanan

- *Propagation Buckling*

Buckling adalah suatu kondisi dimana pipa mengalami tekuk. Kondisi tersebut dapat terjadi karena pipa tidak cukup kuat menahan tekanan eksternal (tekanan hidrostatik), terjadi *bending* yang berlebihan pada pipa, tekanan aksial yang berlebihan, atau kombinasi dari ketiganya.

Syarat yang mesti dipenuhi untuk kriteria *propagation buckling* dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$P_e < \frac{P_{pr}}{\gamma_m \cdot \gamma_{sc}} \quad (2)$$

Dimana :

P_e = tekanan eksternal yang bekerja pada pipa

P_{pr} = tekanan propogasi

γ_m = faktor resistasi material

γ_{sc} = faktor resistansi kelas keamanan

- *System Colapse*

Semakin dalam kedalaman perairan tempat pipa bawah laut berada maka semakin besar pula tekanan eksternal yang bekerja pada pipa tersebut. Pada kedalaman tertentu, tekanan eksternal yang bekerja dapat melebihi nilai tekanan internal yang bekerja pada pipa. Selisih dari tekanan eksternal dan tekanan internal ini dapat menyebabkan perubahan bentuk atau deformasi pada pipa sehingga pipa dapat mengalami keruntuhan (*collapse*). Untuk menghindari terjadinya *collapse* perlu dilakukan perhitungan ketebalan pipa minimal agar pipa kuat menahan tekan eksternal akibat tekanan hidrostatik yang bekerja pada pipa.

Adapun kriteria *system collapse* dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$P_e - P_{min} \leq \frac{P_c(t)}{\gamma_m \cdot \gamma_{sc}} \quad (3)$$

Dimana :

P_{min} = tekanan internal minimum. Normalnya bernilai nol untuk pipa yang digelar di atas permukaan laut

$P_c(t)$ = tekanan *collapse* yang bergantung pada nilai ketebalan pipa (t).

- *Combined Loading.*

Kriteria *combined loading* dimaksudkan agar pipa mampu bertahan terhadap kombinasi beban pembebanan secara langsung. Adapun beban-beban yang dimaksud ialah momen tekuk (*bending moment*), gaya aksial efektif, tekanan internal berlebih (*internal over pressure*) dan tekanan eksternal berlebih (*external over pressure*).

Pengecekan terhadap kriteria *combined loading* dilakukan setelah analisis instalasi dilakukan.

Tebal dinding pipa yang didapat dari perhitungan ialah 22.22 mm atau 0.875 in.

Setelah melakukan perhitungan ketebalan dinding pipa langkah selanjutnya yang dilakukan ialah melakukan analisis kestabilan pipa bawah laut baik secara vertikal maupun lateral. Analisis kestabilan vertikal dilakukan dengan mengacu pada metode *simplified stability analysis* pada DNV RP E305 *On Bottom Stability of Submarine Pipelines*. Pipa dikatakan stabil secara vertikal apabila memenuhi persamaan berikut :

$$\frac{W_s + B}{B} \geq 1.1 \quad (4)$$

Dimana :

W_s = berat pipa di dalam air

B = gaya apung pipa

Sedangkan untuk kestabilan secara lateral, persamaan yang harus dipenuhi ialah :

$$\frac{W_s}{W_{req}} \geq 1.0 \quad (5)$$

Dimana :

W_s = berat pipa di dalam air

W_{req} = berat pipa yang dibutuhkan untuk mencapai kestabilan lateral,

Tujuan utama dari analisis kestabilan pipa ini ialah untuk mendapatkan nilai tebal selimut beton minimum yang diperlukan agar pipa stabil. Analisis yang dilakukan terhadap dua kedalaman yaitu kedalaman minimum yaitu 30.5 m dan kedalaman maksimum, 50 m dan pada dua kondisi yaitu kondisi instalasi dan operasi.

Adapun tebal selimut beton yang didapatkan ialah 45 mm.

Setelah itu dilakukan analisis instalasi terhadap pipa dengan menggunakan *lay barge* Kuroshio II. *Lay barge* tersebut memiliki 11 *roller* (2 *tensioner*) dan 7 *stinger*. Nilai trim dan rotasi yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut :

Table 1 : Konfigurasi Trim dan Rotasi

TRIM	0	derajat
ROTATION	10	derajat

Analisis instalasi yang dilakukan berdasarkan untuk dua kedalaman yaitu kedalaman 30 m dan 50 m. Adapun hasil tegangan yang dihasilkan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Table 2 Nilai Tegangan Hasil Analisis Instalasi

Daerah	Nilai Tegangan pada-	
	Kedalaman 30 m	Kedalaman 50 m
<i>Overbend</i>	75.79 % SMYS	57.4 % SMYS
<i>Sagbend</i>	47.64 % SMYS	73.19 % SMYS

Setelah itu dilakukan perhitungan panjang bentang bebas maksimu yang diperbolehkan. Analisis dilakukan untuk pembebanan statik dan dinamik dengan kondisi instalasi, hidrotas dan operasi. Analisis statik berdasarkan beban statik yang bekerja dari pipa yaitu berat pipa sendiri dan beban hidrodinamika yang bekerja pada pipa. Sedangkan pembebanan dinamik dipengaruhi oleh *vortex induced vibration (VIV)*. Dimana frekuensi VIV tidak boleh bernilai sama untuk menghindari terjadinya resonansi yang menyebabkan *fatigue* pada pipa. Adapun nilai maksimum bentang bebas yang diijinkan ialah 58.44 m.

Untuk menghitung tegangan yang terjadi pada pipa bawah laut terlebih dahulu perlu dilakukan pemilihan kapal yang akan dilakukan untuk analisis. Massa dan konfigurasi kapal berpengaruh pada massa jangkar. Dimana massa jangkar mempengaruhi nilai gaya tarikan jangkar. Perhitungan dilakukan dengan mengadaptasi *Pull Over Load* pada DNV RP F111, *Interference between Trawling Gear and Pipelines*. Gaya yang terjadi terbagi atas gaya dalam arah vertikal dan horizontal. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung gaya tersebut adalah :

$$F_p = C_F \cdot V(m_t k_w)^{1/2}$$

(6)

Dimana :

F_p : gaya maksimum dalam arah horizontal

C_F : koefisien empiris ,

V : kecepatan kapal

m_t : massa jangkar

k_w : *warp stiffness*

Sedangkan untuk gaya dalam arah vertikal dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$F_z = F_p(0.2 + 0.8 \cdot e^{-2.5\bar{H}})$$

(7)

Dimana :

F_z : gaya maksimum dalam arah vertikal

F_p : gaya maksimum dalam arah horizontal

Pemodelan terhadap gaya tarikan jangkar pipa dihitung dengan menggunakan perangkat lunak autoPIPE. Dimana perangkat lunak ini merupakan program berbasis elemen hingga yang dapat digunakan untuk memodelkan dan menganalisis struktur pipa akibat beban statik maupun dinamik. Pada Tugas Akhir ini analisis yang dilakukan merupakan analisis statik.

Pipa bawah laut dimodelkan sebagai pipa yang tergelar di atas tanah *seabed* tanpa ada proteksi. Untuk memodelkan tanah *seabed* digunakan V-stop *support* dengan koefisien friksi sebesar 0.7 atau sama dengan koefisien friksi tanah pasir. Nilai dari gaya tarikan jangkar yang telah dihitung sebelumnya, dimodelkan sebagai gaya terpusat dengan peletakan di tengah bentang pipa. Adapun ujung-ujung bentang pipa dimodelkan sebagai *fix-end*. Bentang pipa dibagi menjadi beberapa titik, dimana jarak antar titik adalah 500 mm.

Perangkat lunak Autopipe menghitung tegangan yang terjadi pada pipa berdasarkan kode ASME B31. 8 Chapter 8. Kode tersebut menghitung tegangan pipa berdasarkan persamaan Von Mises. Pipa dinyatakan gagal apabila tegangan Von Mises yang terjadi lebih besar dari 0.9 SMYS pipa.

Defleksi dan tegangan maksimum yang terjadi pada pipa dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Table 3 Tegangan dan Defleksi Maksimum yang Terjadi

Panjang Bentang	Kecepatan Kapal	Massa Jangkar			
		2850 kg		1590 kg	
		Tegangan Maksimum (MPa)	Defleksi Maksimum (mm)	Tegangan Maksimum (MPa)	Defleksi Maksimum (mm)
100 m	1 knot	141	1.487	137	0.756
	3 knot	238	105.773	206	52.258
	6 knot	500	1031.14	411	662.906
500 m	1 knot	141	1.474	137	0.758
	3 knot	238	106.388	206	52.276
	6 knot	521	1310.029	415	700.34
1 km	1 knot	142	1.875	138	0.958
	3 knot	248	137.88	213	67.679
	6 knot	555	1689.628	441	904.66

Berdasarkan **Tabel 2** defleksi maksimum yang terjadi ialah 1689.63 mm dan tegangan maksimum yang terjadi bernilai 500 MPa.

PENUTUP

Simpulan dari Tugas Akhir ini ialah :

- Tebal dinding pipa yang didapat adalah 22.22 mm atau 0.875 inci. Tebal dinding pipa ini memenuhi seluruh kriteria yang disyaratkan pada DNV RP OS F101.
- Tebal selimut beton yang didapat adalah 45 mm. Tebal selimut beton ini memenuhi syarat kestabilan vertikal dan horizontal untuk kondisi instalasi dan operasi.
- Analisis instalasi dilakukan dengan metode S-Lay dengan menggunakan barge Kuroshio II. Nilai trim *barge* yang digunakan ialah 0° , nilai rotasi dari *stinger* ialah 10° dan nilai tesioner 300 kN. Dengan konfigurasi *barge* tersebut, nilai tegangan yang terjadi pada daerah *overbend* dan *sagbend* baik untuk kedalaman 30 m dan 50 m, bernilai leih kecil dar tegangan izin. Dengan demikian pipa bawah desain bisa diinstal.
- Bentang bebas yangizinkan ialah 58.44 meter. Nilai tersebut memenuhi batas bentang bebas maksium yang disyaratkan untuk pembebanan statik dan dinamik.
- Pada dasarnya pipa memang tidak didesain untuk kuat terhadap gaya tarikan jangkar.
- Terdapat 16 kasus yang dimodelkan pada analisis ini. Parameter yang digunakan ialah massa jangkar kapal kapal (2850 kg dan 1590 kg), kecepatan kapal (1 knot, 3 knot, 6 knot) dan panjang bentang pipa (100 m, 500 m, 1000 m).
- Semakin besar massa jangkar dan kecepatan kapal maka semakin besar pula gaya tarikan jangkar. Hal ini menyebabkan defleksi dan tegangan yang terjadi juga semakin besar.
- Besar defleksi dan tegangan maksimum yang terjadi berada pada tengah bentang dimana gaya tarikan jangkar bekerja.
- Defleksi maksimum yang terjadi bernilai 1689.63 mm dan tegangan maksimum yang terjadi bernilai 500 MPa. Defleksi dan tegangan tersebut terjadi akibat gaya tarikan jangkar untuk massa jangkar 2850 kg dan kecepatan kapal 6 knot.
- Dari 16 kasus pemodelan terdapat enam kasus yang meyebabkan pipa gagal. Kegagalan tersebut akibat gaya tarikan jangkar dengan kecepatan kapal 6 knot.

- Untuk kapal dengan kecepatan 1 dan 3 knot menghasilkan nilai tegangan yang masih berada di bawah tegangan ijin sehingga pipa aman.

Adapun saran yang diusulkan setelah pengerjaan Tugas Akhir ini adalah :

- Pada Tugas Akhir ini perhitungan gaya tarikan jangkar dihitung dengan mengadaptasi *pull over load* akibat pukuk (*trawl*), diperlukan pengkajian lebih lanjut untuk menghitung gaya tarikan jangkar terhadap pipa bawah laut dengan memperhitungkan massa kapal dan kemungkinan terjadinya *hooking*.
- Dalam memodelkan gaya tarikan jangkar perlu dilakukan analisis dinamik dengan memperhatikan durasi tarikan jangkar.
- Pengaruh dari tahanan tanah dan kemungkinan terjadinya *settlement* pada tanah perlu diperhitungkan untuk analisis selanjutnya.

Simpulan dari Tugas Akhir ini ialah :

- Tebal dinding pipa yang didapat adalah 22.22 mm atau 0.875 inci. Tebal dinding pipa ini memenuhi seluruh kriteria yang disyaratkan pada DNV RP OS F101.
- Tebal selimut beton yang didapat adalah 45 mm. Tebal selimut beton ini memenuhi syarat kestabilan vertikal dan horizontal untuk kondisi instalasi dan operasi.
- Analisis instalasi dilakukan dengan metode S-Lay dengan menggunakan barge Kuroshio II. Nilai trim *barge* yang digunakan ialah 0° , nilai rotasi dari *stinger* ialah 10° dan nilai torsi 300 kN. Dengan konfigurasi *barge* tersebut, nilai tegangan yang terjadi pada daerah *overbend* dan *sagbend* baik untuk kedalaman 30 m dan 50 m, bernilai lebih kecil dari tegangan ijin. Dengan demikian pipa bawah desain bisa diinstal.
- Bentang bebas yang diizinkan ialah 58.44 meter. Nilai tersebut memenuhi batas bentang bebas maksimum yang disyaratkan untuk pembebanan statik dan dinamik.
- Pada dasarnya pipa memang tidak didesain untuk kuat terhadap gaya tarikan jangkar.
- Terdapat 16 kasus yang dimodelkan pada analisis ini. Parameter yang digunakan ialah massa jangkar kapal (2850 kg dan 1590 kg), kecepatan kapal (1 knot, 3 knot, 6 knot) dan panjang bentang pipa (100 m, 500 m, 1000 m).
- Semakin besar massa jangkar dan kecepatan kapal maka semakin besar pula gaya tarikan jangkar. Hal ini menyebabkan defleksi dan tegangan yang terjadi juga semakin besar.
- Besar defleksi dan tegangan maksimum yang terjadi berada pada tengah bentang dimana gaya tarikan jangkar bekerja.
- Defleksi maksimum yang terjadi bernilai 1689.63 mm dan tegangan maksimum yang terjadi bernilai 500 MPa. Defleksi dan tegangan tersebut terjadi akibat gaya tarikan jangkar untuk massa jangkar 2850 kg dan kecepatan kapal 6 knot.

- Dari 16 kasus pemodelan terdapat enam kasus yang menyebabkan pipa gagal. Kegagalan tersebut akibat gaya tarikan jangkar dengan kecepatan kapal 6 knot.
- Untuk kapal dengan kecepatan 1 dan 3 knot menghasilkan nilai tegangan yang masih berada di bawah tegangan ijin sehingga pipa aman.

1.1 Saran

Adapun saran yang diusulkan setelah pengerjaan Tugas Akhir ini adalah :

- Pada Tugas Akhir ini perhitungan gaya tarikan jangkar dihitung dengan mengadaptasi *pull over load* akibat pukot (*trawl*), diperlukan pengkajian lebih lanjut untuk menghitung gaya tarikan jangkar terhadap pipa bawah laut dengan memperhitungkan massa kapal dan kemungkinan terjadinya *hooking*.
- Dalam memodelkan gaya tarikan jangkar perlu dilakukan analisis dinamik dengan memperhatikan durasi tarikan jangkar.
- Pengaruh dari tahanan tanah dan kemungkinan terjadinya *settlement* pada tanah perlu diperhitungkan untuk analisis selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Det Norske Veritas (DNV). 2010. *“OS F101: Submarine Pipeline Systems”*. Veritas, Oslo.

Det Norske Veritas (DNV). 1988. *“RP E305: On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines,”*. Veritas, Oslo.

Det Norske Veritas (DNV). 1981. *“Det Norske Veritas (DNV). 1988. “RP E305: On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines,”*. Veritas, Oslo.

Boyun Guo at. al., 2005. *Offshore Pipelines*, Gulf Professional Publishing, Burlington, U.S.A.

Yong, Bai , 2001. *Pipelines and Risers*, Elsevier Ocean Engineering Book Series, Netherlands.

Putri, Rieska Mawarni . Desain *Offshore Pipeline* di Selat Madura. Tugas Akhir, Program Studi Teknik Kelautan ITB, Bandung.

Tawekal, Jessica Rikanti . Desain dan Tegangan *Pipeline Crossing* . Tugas Akhir, Program Studi Teknik Kelautan ITB, Bandung.

Maulana, Iman. Analisis Kerusakan Pipa Bawah Laut Akibat *Drop Anchor*. Tugas Akhir, Program Studi Teknik Kelautan ITB, Bandung.

American Bureau of Shipping, 2013. Rules of Building and Classing Steel Vessel, Houston.

<http://inter-china.en.alibaba.com>