

DESAIN DAN ANALISIS FATIGUE PIPA BAWAH LAUT DI TIMUR PERAIRAN JAWA *DESIGN AND FATIGUE ANALYSIS OF SUBMERGED PIPELINE IN EAST JAVA SEA*

I Gusti Bagus Yoga P.¹ dan Ricky Lukman Tawekal²

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

¹yoga.laksana@students.itb.ac.id dan ²ricky.ocean@itb.ac.id

Abstrak: Peningkatan teknologi distribusi minyak dan gas bumi menyebabkan teknologi pipa bawah laut menjadi teknologi yang paling efisien untuk distribusi minyak dan gas bumi. Selama pipa bawah laut beroperasi, pipa bawah laut akan terkena beban siklik. Oleh karena itu, untuk memastikan pipa bawah laut mampu menahan beban siklik selama masa operasinya, akan dilakukan desain pipa bawah laut dan dilakukan analisis *fatigue* untuk mengetahui umur layan pipa bawah laut selama terkena beban siklik. Lingkup pembahasan dalam tugas akhir ini terdiri dari desain tebal dinding pipa bawah laut, analisis *on-bottom stability*, analisis instalasi, analisis bentang bebas, analisis *fatigue*, dan analisis *ultimate limit state* (ULS). Hasil keluaran dari analisis pada tugas akhir ini adalah desain pipa bawah laut yang mencakup tebal dinding pipa bawah laut, tebal lapisan beton, konfigurasi *laybarge* pada saat instalasi, bentang bebas izin pipa, dan umur layan dari pipa bawah laut.

Kata Kunci: tebal dinding, tebal lapisan beton, instalasi, bentang bebas, *fatigue*, *ultimate limit state*, umur layan

Abstract: Improvement on oil and gas distribution caused submerged pipeline becomes the most efficient technology to distribute oil and gas. During the operation period, submerged pipeline will be subjected to cyclic loading. Therefore, in order to ensure the ability of submerged pipeline to withstand the load, design of the submerged pipeline and fatigue analysis on submerged pipeline must be performed. In this study, analysis of pipeline wall thickness, analysis of on-bottom stability, analysis of pipeline installation, analysis of pipeline free span, fatigue analysis, and ultimate limit state (ULS) analysis will be performed. The output of this study is the pipeline wall thickness, the pipeline concrete coating thickness, the laybarge configuration during the pipeline installation, the pipeline allowable free span, and the fatigue life of the submerged pipeline.

Keywords: wall thickness, concrete coating thickness, installation, free span, *fatigue*, *ultimate limit state*, fatigue life

PENDAHULUAN

Sumber daya minyak dan gas bumi merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Sebagian besar dari sumber daya minyak dan gas bumi terdapat pada daerah lepas pantai. Untuk dapat memperoleh sumber daya tersebut, diperlukan fasilitas untuk mendapatkan minyak dan gas bumi serta infrastruktur untuk dapat mendistribusikan minyak dan gas bumi ke darat.

Salah satu alternatif untuk mendistribusikan minyak dan gas bumi adalah pipa bawah laut. Pipa bawah laut merupakan saluran yang berbentuk silinder yang dapat digunakan untuk mengalirkan fluida dari satu tempat ke tempat lainnya tanpa keterbatasan jarak. Pipa bawah laut memerlukan biaya tinggi di awal

tahap perencanaan, serta proses instalasi yang rumit. Oleh karena itu, diperlukan proses perencanaan desain yang matang supaya pipa bawah laut dapat beroperasi dengan baik tanpa adanya kegagalan.

Proses perencanaan desain pipa bawah laut meliputi berbagai hal. Hal yang perlu dilakukan adalah penentuan desain awal pipa bawah laut. Desain awal pipa bawah laut dimulai dengan analisis penentuan tebal pipa agar mampu menahan beban-beban yang bekerja pada pipa. Kemudian dilakukan perencanaan ketebalan beton pelapis pipa agar berat pipa memenuhi ketentuan kestabilan dasar laut.

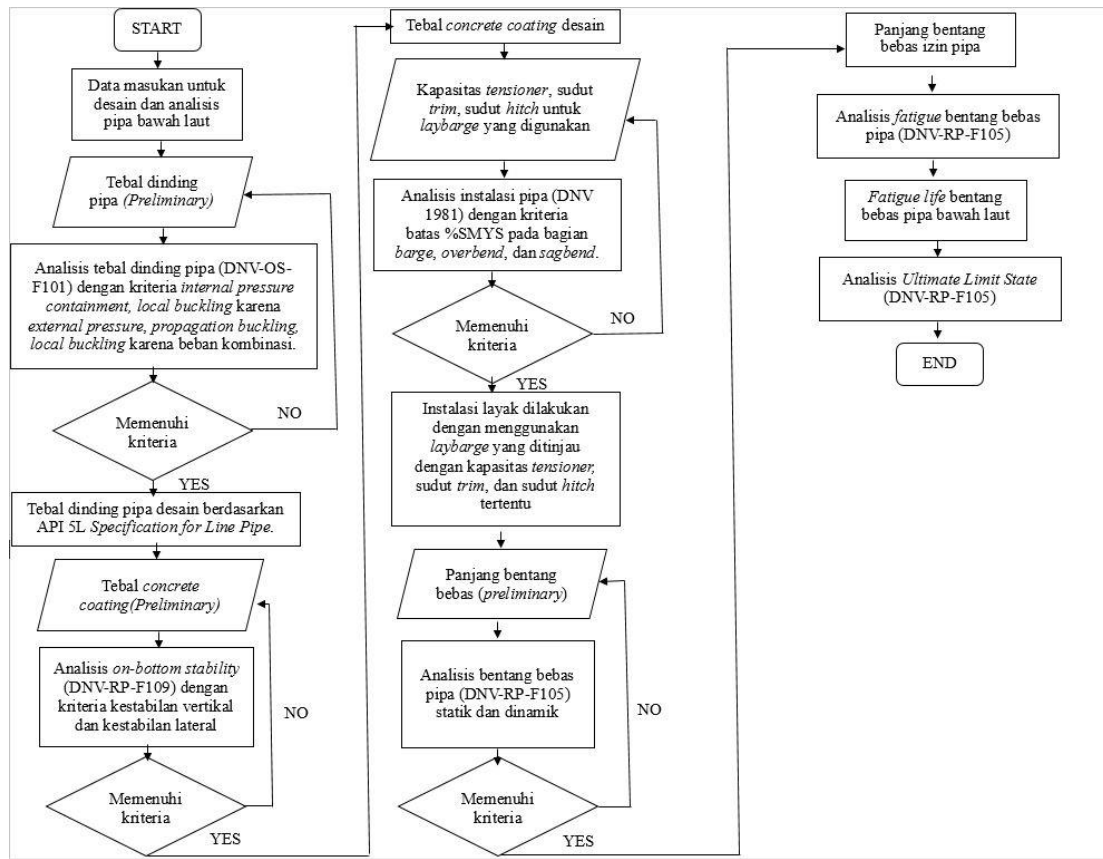
Setelah proses desain awal pipa bawah laut telah dilakukan, dilakukan analisis instalasi pipa bawah laut untuk menguji kelayakan pipa bawah laut pada saat proses instalasi dengan *barge* yang telah ditentukan dengan memperhitungkan tegangan yang terjadi pada pipa saat proses instalasi. Untuk memenuhi kelayakan instalasi, desain pipa dapat berubah dari desain awalnya.

Apabila pipa telah layak untuk dilakukan instalasi, hal yang perlu dilakukan kemudian adalah menentukan batas bentang bebas pipa bawah laut yang terjadi akibat ketidakrataan dasar laut supaya tidak menimbulkan kegagalan pada pipa. Bentang bebas pipa bawah laut yang ditumpu oleh tumpuan dapat menimbulkan beban statik dan dinamik pada pipa. Beban statik yang terjadi pada pipa merupakan berat sendiri pipa, sementara beban dinamik yang terjadi pada pipa merupakan gaya yang timbul akibat *vortex induced vibration* dan beban gelombang yang terjadi pada pipa.

Apabila analisis bentang bebas pipa bawah laut telah dilakukan, perlu dilakukan analisis *fatigue* untuk memastikan pipa bawah laut mampu menahan beban siklik oleh gelombang dan arus selama pipa beroperasi. Umur *fatigue* pipa pada sebuah bentang bebas pipa harus melebihi umur desain pipa. Kapasitas kekuatan pipa selama beroperasi kemudian diperiksa berdasarkan beban yang bekerja dengan analisis *ultimate limit state*.

TEORI DAN METODOLOGI

Desain dan analisis pipa bawah laut meliputi desain tebal dinding pipa, desain tebal lapisan beton pipa, konfigurasi barge untuk instalasi pipa, panjang bentang bebas izin pipa, analisis *fatigue life* pipa, dan analisis *ultimate limit state* (ULS).



Gambar 1 Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

Analisis tebal dinding pipa harus memenuhi 4 kriteria berdasarkan standar DNV OS F101 *Submarine Pipeline System*. Kriteria *internal pressure containment* yang terjadi karena kemungkinan tekanan internal berlebih ditunjukkan oleh **Persamaan 1**.

$$P_{li} - P_e \leq \frac{P_b}{\gamma_m \gamma_{sc}}$$

Persamaan 1

Keterangan:

P_{li} : *Local Incidental Pressure*

P_e : Tekanan Eksternal

P_b : *Pressure Containment Resistance*

γ_m : *Material Resistance Factor*

γ_{sc} : *Safety Class Resistance Factor*

Kriteria *local buckling* karena *external pressure* yang terjadi karena kemungkinan tekanan eksternal berlebih ditunjukkan oleh **Persamaan 2**.

$$P_e - P_{min} \leq \frac{P_c}{\gamma_m \gamma_{sc}}$$

Persamaan 2

Keterangan:

- P_e : Tekanan Eksternal
 P_{min} : Tekanan Internal Minimum
 P_c : Tekanan *Collapse*
 γ_m : *Material Resistance Factor*
 γ_{sc} : *Safety Class Resistance Factor*

Kriteria *propagation buckling* yang terjadi karena kemungkinan merambatnya *buckling* ke sepanjang bentang pipa ditunjukkan oleh **Persamaan 3**.

$$P_e \leq \frac{P_{pr}}{\gamma_m \gamma_{sc}}$$

Persamaan 3

Keterangan:

- P_e : Tekanan Eksternal
 P_{min} : Tekanan Internal Minimum
 P_{pr} : Tekanan Propagasi
 γ_m : *Material Resistance Factor*
 γ_{sc} : *Safety Class Resistance Factor*

Kriteria *local buckling* karena *combined loading* yang terjadi karena kemungkinan adanya tekuk lokal yang disebabkan oleh beban kombinasi yang bekerja pada pipa ditunjukkan oleh **Persamaan 4** untuk kondisi *external overpressure* dan **Persamaan 5** untuk kondisi *internal overpressure*.

$$\left\{ \left[\gamma_m \gamma_{sc} \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c M_p} + \left(\frac{\gamma_m \gamma_{sc} S_{sd}}{\alpha_c S_p} \right)^2 \right]^2 + \left(\gamma_m \gamma_{sc} \frac{P_e - P_{min}}{P_c} \right)^2 \right\} \leq 1$$

Persamaan 4

$$\left\{ \left[\gamma_m \gamma_{sc} \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c M_p} + \left(\frac{\gamma_m \gamma_{sc} S_{sd}}{\alpha_c S_p} \right)^2 \right]^2 + \left(\alpha_p \frac{P_i - P_e}{\alpha_c P_b \frac{2}{\sqrt{3}}} \right)^2 \right\} \leq 1$$

Persamaan 5

Keterangan:

γ_m	: Material Resistance Factor
γ_{sc}	: Safety Class Resistance Factor
M_{sd}	: Design Bending Moment
M_p	: Plastic Capacities of Bending Moment
S_{sd}	: Design Axial Force
M_p	: Plastic Capacities of Axial Force
α_c	: Flow Stress Parameter
P_e	: Tekanan Eksternal
P_{min}	: Tekanan Internal Minimum
P_c	: Tekanan Collapse
α_p	: Pressure Factor
P_i	: Tekanan Internal
P_b	: Pressure Containment Resistance

Tebal lapisan beton pipa didesain berdasarkan analisis *on-bottom stability* berdasarkan standar DNV-RP-F109 *On Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*. Tebal lapisan beton harus dapat memastikan kestabilan pipa di dasar laut baik secara vertikal maupun lateral. Persamaan kestabilan pipa di dasar laut ditunjukkan oleh **Persamaan 6** untuk kestabilan vertikal dan **Persamaan 7** dan **Persamaan 8** untuk kestabilan lateral.

$$\gamma_w \frac{b}{w_s + b} \leq 1.00$$

Persamaan 6

Keterangan:

γ_w : *Safety Factor* (diambil nilai 1.1)

b : Gaya Apung Pipa

w_s : *Pipe Submerged Weight*

$$\gamma_{sc} \frac{F_y + \mu F_z}{\mu w_s + F_R} \leq 1.0$$

Persamaan 7

$$\gamma_{sc} \frac{F_z}{w_s} \leq 1.0$$

Persamaan 8

Keterangan:

γ_{sc} : *Safety Factor* untuk Jenis Tanah Pada Lokasi Tertentu

w_s : *Pipe Submerged Weight*

F_y : Gaya Hidrodinamik pada Pipa Arah Horizontal

F_z : Gaya Hidrodinamik pada Pipa Arah Vertikal

Analisis instalasi pipa bawah laut dilakukan berdasarkan standar DNV 1981. Pada tugas akhir ini, metode instalasi yang digunakan adalah metode instalasi *S-Lay*. Berdasarkan DNV 1981, tegangan yang dapat

diterima oleh daerah segmen pipa ditunjukkan dalam %*Specified Minimum Yield Stress* (%SMYS) dan ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 %SMYS Izin per Daerah Segmen Pipa

Daerah Segmen Pipa	%SMYS Izin Maksimum
<i>Laybargo</i>	96
<i>Overbend</i>	85
<i>Sagbend</i>	72

Analisis bentang bebas pipa bawah laut dilakukan berdasarkan standar DNV-RP-F105 *Free Spanning Pipelines* dan dibagi menjadi bentang bebas statik dan dinamik. Bentang bebas statik dari pipa bawah laut dipengaruhi oleh berat sendiri pipa dan beban lingkungan yang bekerja pada pipa. Kriteria yang harus dipenuhi untuk bentang bebas statik yang diizinkan ditunjukkan pada **Persamaan 9**.

$$S_{static} < 0.96 SMYS$$

Persamaan 9

Keterangan:

S_{static} : Tegangan statik pipa

SMYS : *Specified Minimum Yield Strength*

Analisis bentang bebas dinamik izin dipengaruhi oleh beban arus dan gelombang serta frekuensi natural pipa. Kriteria untuk bentang bebas dinamik izin yang menggunakan kriteria *screening fatigue* ditunjukkan pada untuk frekuensi natural *in-line* dan untuk frekuensi natural *cross-flow*.

$$\frac{f_{nIL}}{\gamma_{IL}} > \frac{U_c}{V_{Ronset}^{IL} D_{total}} \left(1 - \frac{L}{250} \right) \frac{1}{\bar{\alpha}}$$

Persamaan 10

$$\frac{f_{nCF}}{\gamma_{CF}} > \frac{U_C + U_w}{V_{Ronset}^{CF} D_{total}}$$

Persamaan 11

Keterangan:

- f_{nIL} : frekuensi natural *in-line*
 f_{nCF} : frekuensi natural *cross-flow*
 γ_{IL} : *in-line screening factor*
 γ_{CF} : *cross-flow screening factor*
 U_C : kecepatan arus pada kedalaman pipa
 U_w : kecepatan partikel air akibat gelombang pada kedalaman pipa
 V_{Ronset}^{IL} : *in-line onset value* untuk kecepatan tereduksi
 V_{Ronset}^{CF} : *cross-flow onset value* untuk kecepatan tereduksi

Bentang bebas yang tidak lolos kriteria *screening fatigue* kemudian dilakukan analisis *fatigue* terhadap bentang bebas tersebut untuk memastikan bentang bebas pipa mampu menahan beban siklik selama masa layan pipa. Kriteria *fatigue* yang harus dipenuhi menurut standar DNV-RP-F105 *Free Spanning Pipelines* ditunjukkan pada **Persamaan 12**.

$$\eta T_{life} \geq T_{exposure}$$

Persamaan 12

Keterangan:

- η : *allowable fatigue damage ratio*
 T_{life} : *fatigue design life capacity*
 $T_{exposure}$: *design life (load exposure time)*

Bentang bebas yang telah dilakukan analisis *fatigue* kemudian dilakukan analisis *ultimate limit state* (ULS) untuk memastikan kapasitas pipa mampu menahan beban internal dan eksternal yang diterima

oleh pipa. Kriteria ULS ditunjukkan pada **Persamaan 4** untuk kondisi *external overpressure* dan **Persamaan 5** untuk kondisi *internal overpressure*.

HASIL DAN ANALISIS

1. Analisis Tebal Dinding Pipa

Analisis tebal dinding pipa dilakukan berdasarkan standar DNV OS F101 *Submarine Pipeline System*. Perhitungan tebal dinding pipa dilakukan untuk kriteria *internal pressure containment*, *local buckling* karena *external pressure*, *propagation buckling*, dan *local buckling* karena *combined loading* dan pada kondisi instalasi, *hydrotest*, dan operasi. Hasil perhitungan tebal dinding pipa ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Rangkuman Hasil Desain Tebal Dinding Pipa

Kriteria	Kondisi		
	Instalasi	<i>Hydrotest</i>	Operasi
	Tebal Dinding (mm)	Tebal Dinding (mm)	Tebal Dinding (mm)
<i>Internal Pressure Containment</i>	-	9.0	10.9
<i>Local Buckling due to External Pressure</i>	8.7	-	-
<i>Propagation Buckling</i>	12.3	12.8	16.3
<i>Local Buckling due to Combined Loading</i>	7.1	5.8	8.2

Kriteria	Kondisi		
	Instalasi	<i>Hydrotest</i>	Operasi
	Tebal Dinding (mm)	Tebal Dinding (mm)	Tebal Dinding (mm)
<i>Selected Wall Thickness Based on API 5L</i>	17.9 mm		

2. Analisis On-Bottom Stability

Analisis *on-bottom stability* dilakukan berdasarkan standar DNV-RP-F109 *On-Bottom Stability Design of Submarine Pipeline* untuk menentukan tebal lapisan beton yang dapat memastikan kestabilan pipa di dasar laut secara vertikal dan lateral. Analisis dilakukan untuk kondisi instalasi, *hydrotest*, dan operasi dan pada kedalaman minimum dan maksimum. Tebal lapisan beton hasil dari analisis *on-bottom stability* ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Rangkuman Hasil Desain Tebal Lapisan Beton Pipa

Kondisi	Tebal <i>Concrete Coating</i> (mm)	
	Kedalaman Maksimum	Kedalaman Minimum
Instalasi	5	5
Operasi	8	15
<i>Selected Concrete Coating</i>	25.4 mm (1 inch)	

3. Analisis Instalasi Pipa

Analisis instalasi pipa dilakukan berdasarkan standar DNV 1981. Analisis instalasi pipa dilakukan untuk menentukan konfigurasi *laybarge* yang dapat melakukan instalasi pipa tanpa adanya tegangan yang melebihi %SMYS yang telah ditentukan pada standar di sepanjang pipa. Hasil dari analisis instalasi pipa ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4 Rangkuman Hasil Analisis Instalasi Pipa

<i>Laybarge</i>	Kedalaman Minimum			Kedalaman Maksimum		
	Kapasitas <i>Tensioner</i> (kN)	Sudut <i>Trim</i> (°)	Sudut <i>Hitch</i> (°)	Kapasitas <i>Tensioner</i> (kN)	Sudut <i>Trim</i> (°)	Sudut <i>Hitch</i> (°)
A	588	1	1	588	2	2
B	1224	0	10	1224	0	10
C	367	0	10	367	0	10

4. Analisis Bentang Bebas Pipa

Analisis bentang bebas pipa dilakukan berdasarkan standar DNV-RP-F105 *Free Spanning Pipelines*. Analisis dilakukan untuk menentukan bentang bebas izin secara statik dan dinamik dengan mempertimbangkan kondisi instalasi, *hydrotest*, dan operasi serta pada kedalaman minimum dan maksimum. Hasil dari analisis bentang bebas pipa ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5 Rangkuman Hasil Analisis Bentang Bebas Pipa

Kondisi	Panjang <i>Allowable Free Span</i>				Satuan
	Kedalaman Maksimum		Kedalaman Minimum		
	Statik	Dinamik	Statik	Dinamik	
Instalasi	90	29	90	28	m
<i>Hydrotest</i>	47	18	47	18	m
Operasi	86	14	86	13	m
<i>Selected Allowable Free Span Length</i>	13 m				

5. Analisis *Fatigue* pada Bentang Bebas Pipa

Analisis *fatigue* dilakukan pada bentang bebas yang terdapat di sepanjang pipa bawah laut. Analisis *fatigue* dilakukan berdasarkan standar DNV-RP-F105 *Free Spanning Pipelines* dengan menggunakan

perangkat lunak FATFREE. Hasil dari analisis *fatigue* yang berupa *fatigue life* pada bentang bebas pipa ditunjukkan pada **Tabel 6** untuk kedalaman minimum dan **Tabel 7** untuk kedalaman maksimum.

Tabel 6 *Fatigue Life* pada Bentang Bebas Pipa untuk Kedalaman Minimum

Kedalaman Minimum				
Panjang Bentang Bebas (m)	<i>Fatigue Life</i> (Tahun)			
	<i>In-Line (Response Model)</i>	<i>Cross-Flow</i>	<i>In-Line (Force Model)</i>	<i>In-Line (Combined)</i>
13	1×10^6	1×10^6	1×10^6	1×10^6
35	1.83×10^3	9.99×10^5	7.33×10^5	1.83×10^3
42	22.9	9.90×10^5	3.78×10^4	22.9

Tabel 7 *Fatigue Life* pada Bentang Bebas Pipa untuk Kedalaman Maksimum

Kedalaman Maksimum				
Panjang Bentang Bebas (m)	<i>Fatigue Life</i> (Tahun)			
	<i>In-Line (Response Model)</i>	<i>Cross-Flow</i>	<i>In-Line (Force Model)</i>	<i>In-Line (Combined)</i>
13	1×10^6	1×10^6	1×10^6	1×10^6
35	1.84×10^3	1×10^6	9.66×10^5	1.84×10^3
42	23	1×10^6	2.59×10^5	23

Dari **Tabel 6** dan **Tabel 7** dapat dilihat bahwa tidak ada nilai *fatigue life* pada bentang bebas yang kurang dari umur desain pipa yaitu 20 tahun. Namun, apabila terdapat panjang bentang bebas yang lebih dari 42 m akan menyebabkan nilai *fatigue life* bentang bebas tersebut lebih kecil dari umur desain pipa.

6. Analisis *Ultimate Limit State*

Analisis *ultimate limit state* (ULS) dilakukan pada bentang bebas pipa bawah laut untuk memastikan kapasitas pipa mampu menahan beban internal dan eksternal yang diterima oleh pipa. Analisis ULS dilakukan berdasarkan standar DNV-RP-F105 *Free Spanning Pipelines* dengan mempertimbangkan kondisi instalasi, *hydrotest*, dan operasi pada kedalaman minimum dan maksimum. Hasil dari analisis ULS ditunjukkan pada **Tabel 8**.

Tabel 8 Rangkuman Hasil Analisis Ultimate Limit State
Analisis Ultimate Limit State

<i>Analisis Ultimate Limit State</i>							
Kondisi		Kedalaman Minimum			Kedalaman Maksimum		
	L (m)	13	35	42	13	35	42
Instalasi	<i>In-Line</i>	0.004	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008
	<i>Cross-Flow</i>	0.004	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008
<i>Hydrotest</i>	<i>In-Line</i>	0.033	0.054	0.069	0.032	0.052	0.068
	<i>Cross-Flow</i>	0.033	0.055	0.071	0.032	0.053	0.069
Operasi	<i>In-Line</i>	0.033	0.041	0.046	0.031	0.039	0.044
	<i>Cross-Flow</i>	0.033	0.041	0.046	0.031	0.039	0.044
Results		OK	OK	OK	OK	OK	OK

Seluruh bentang bebas pipa memenuhi kriteria ULS sehingga kapasitas pipa mampu menahan beban eksternal dan internal yang dialami oleh pipa selama masa operasinya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis pada kasus yang ditinjau, didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil desain tebal dinding pipa yang memenuhi kriteria *internal pressure containment*, *local buckling* karena *external pressure*, *propagation buckling*, dan *local buckling* karena *combined loading* adalah setebal 17.9 mm;
2. Hasil desain tebal *concrete coating* untuk dapat memastikan kestabilan pipa di dasar laut baik secara vertikal maupun lateral adalah setebal 1 inci;
3. Instalasi pipa bawah laut dapat dilakukan dengan menggunakan *laybarge* A dengan menggunakan kapasitas *tensioner* 588 kN, sudut *trim* 2 °, dan sudut *hitch* 2 ° untuk kedalaman maksimum dan kapasitas *tensioner* 588 kN, sudut *trim* 1 °, dan sudut *hitch* 1° untuk kedalaman minimum, menggunakan *laybarge* B dengan menggunakan kapasitas *tensioner* 1224 kN, sudut *trim* 0 °, dan sudut *hitch* 10 ° untuk kedalaman maksimum dan minimum, dan menggunakan *laybarge* C dengan menggunakan kapasitas *tensioner* 367 kN, sudut *trim* 0 °, dan sudut *hitch* 10 ° untuk kedalaman maksimum dan minimum;
4. Hasil perhitungan panjang bentang bebas izin pada bentang pipa bawah laut secara statik dan dinamik adalah 13 m;
5. Bentang bebas yang ditinjau memiliki *fatigue life* yang lebih besar dari *design life*;
6. Bentang bebas yang ditinjau lolos kriteria *ultimate limit state*.

Adapun saran agar tugas akhir ini mendapatkan hasil yang lebih komprehensif adalah sebagai berikut:

1. Data *design axial force* dan *design bending moment* untuk perhitungan tebal dinding pipa kriteria *local buckling* karena *combined loading* perlu disesuaikan dengan yang sebenarnya.
2. Data distribusi arus dan gelombang untuk analisis *fatigue* pada bentang bebas pipa sebaiknya menggunakan 16 arah diskrit untuk hasil yang lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

Bai, Yong dan Qiang Bai. 2005. *Subsea Pipelines and Risers*. Oxford:Inggris. Elsevier LTD.

Det Norske Veritas. 2007. *DNV-OS-F101 Submarine Pipeline Systems*. Hovik:Norwegia. Det Norske Veritas.

Det Norske Veritas. 2010. *DNV-RP-F109 On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*. Hovik:Norwegia. Det Norske Veritas.

Det Norske Veritas. 2006. *DNV-RP-F105 Free Spanning Pipelines*. Hovik:Norwegia. Det Norske Veritas.

Det Norske Veritas. 1981. *Rules for Submarine Pipeline Systems*. Hovik:Norwegia. Det Norske Veritas.

Tawekal, Ricky Lukman. 2012. *Diktat Kuliah KL-4221 Desain Pipa Bawah Laut*. Bandung:Indonesia. Penerbit ITB.