

DESAIN & ANALISIS INSTALASI PIPA BAWAH LAUT DENGAN METODE S-LAY DI LAUT JAWA

Shilla Rizqi Widiyanto¹ dan Prof. Ir. Ricky Lukman Tawekal, MSE, Ph.D²

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan, FTSL, ITB

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

Kata Kunci : *wall thickness, on-bottom stability, installation analysis, s-lay*

ABSTRAK

Dalam mentranspor gas di lautan, dibutuhkan fasilitas-fasilitas penunjang yang berbeda, salah satunya adalah *subsea pipeline* (pipa bawah laut). Dibutuhkan desain yang baik agar pipa bawah laut dapat beroperasi selama masa layan yang diinginkan. Setelah desain dari pipa bawah laut ditentukan berdasarkan beban operasional dan beban lingkungan, pipa harus dipastikan dapat digelar menggunakan *barge* yang tersedia. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mendesain ketebalan dinding dan ketebalan selimut beton pipa serta melakukan pengecekan kriteria pipa agar dapat digelar sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Dalam pengerjaannya, ketebalan dinding pipa ditentukan berdasarkan beberapa kriteria dan ditinjau pada beberapa kondisi dan dipilih kriteria yang memberikan hasil paling konservatif. Desain ketebalan selimut beton dilakukan dengan mengacu pada dua kriteria yang harus dipenuhi, pertama kestabilan vertikal dan kestabilan lateral, dan ditinjau pada beberapa kondisi yang relevan. Tebal selimut beton dipilih berdasarkan kebutuhan minimum yang harus dipenuhi agar kriteria yang telah ditentukan terpenuhi. Pada analisis instalasi statik dipilih *barge* yang optimum dengan konfigurasi tertentu berdasarkan *acceptance criteria* yang berlaku. *Barge* serta konfigurasi ini digunakan dalam analisis instalasi dinamik untuk mengetahui *layability* dari pipa yang telah didesain. Kesimpulan yang didapat dari pengerjaan tugas akhir ini adalah dipilih ketebalan dinding dan selimut beton masing – masing sebesar 14.3mm dan 60mm, serta pipa yang digelar menggunakan *barge* memenuhi *acceptance criteria* yang berlaku.

PENDAHULUAN

Selama proses transpor gas, pipa bawah laut harus beroperasi dengan baik, sehingga butuh proses desain yang dapat memenuhi beban operasional dan aman dari beban lingkungan. Hasil desain harus dipastikan dapat digelar dengan aman menggunakan *barge* yang ada.

METODOLOGI

Langkah-langkah pengerjaan dalam Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Langkah Pengerjaan

Setelah data terkumpul, digunakan kriteria desain berdasarkan DNV OS F101 *Submarine Pipeline Systems*. Terdapat 4 kriteria yang harus dipenuhi yaitu : *Bursting*, *Collapse*, *Propagation Buckling*, *Buckling due to Combined Loading*. Keempat kriteria ini ditinjau pada kondisi operasional, *hydrotest*, dan instalasi.

Setelah dilakukan proses desain ketebalan dinding pipa, dilakukan desain ketebalan selimut beton agar pipa terhadap beban akibat gelombang dan arus. Desain ketebalan selimut beton mengacu pada DNV RP F109 *On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*. Berdasarkan DNV RP F109 terdapat dua kriteria kestabilan yang harus dipenuhi, yaitu kestabilan vertikal dan lateral. Pada kriteria kestabilan lateral digunakan metode *Absolute Static Lateral Method*. Kedua kriteria ini harus dipenuhi untuk kondisi yang relevan. Penulis menggunakan tiga kondisi, yaitu operasional dengan asumsi terdapat *marine growth*, operasional dengan asumsi tanpa *marine growth*, dan kondisi instalasi. Perbedaan

kondisi operasional dan kondisi instalasi terletak pada periode ulang beban lingkungan yang digunakan. Pada kondisi operasional digunakan beban gelombang dan arus dengan periode ulang 100 tahun, sedangkan pada kondisi instalasi digunakan periode ulang 1 tahun.

Dengan desain ketebalan dinding pipa dan ketebalan selimut beton telah terpenuhi, perlu dicek *layability* pipa yang telah didesain dengan barge yang tersedia dengan melakukan analisis instalasi baik dalam kondisi statik maupun dinamik. Analisis instalasi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak OFFPIPE. Pada kondisi statik dibandingkan tiga *barge*, untuk dipilih satu *barge* yang memberikan hasil paling optimum

Pada analisis instalasi kondisi dinamik, *barge* yang paling optimum dimodelkan, untuk mendapatkan respon gerak terhadap beban akibat gelombang dari berbagai arah *heading*. *Output* pemodelan berupa *Response Amplitude Operator* pergerakan *barge* yang menggambarkan karakteristik respon suatu *barge* terhadap beban gelombang. Pemodelan lambung *barge* menggunakan bantuan perangkat lunak MOSES.

RAO pergerakan *barge*, diinputkan pada perangkat lunak OFFPIPE untuk melakukan analisis instalasi kondisi dinamik. *Acceptance criteria* yang harus dipenuhi pipa ketika kegiatan instalasi berlangsung. Secara umum terdapat 4 kriteria yang harus dipenuhi berdasarkan DNV OS F101, yaitu: regangan di *Overbend*, tegangan di *Sagbend*, *Compressive Strain*.

HASIL DAN ANALISIS

Dari desain ketebalan pipa berdasarkan kriteria DNV OS F101 didapat hasil yang tersaji pada tabel 1. Dari desain ketebalan selimut beton berdasarkan kriteria DNV RP F109 didapat hasil yang tersaji pada tabel 2.

Berdasarkan analisis instalasi statik menggunakan perangkat lunak OFFPIPE diketahui bahwa dengan menggunakan *Lay-barge* Swiber Resolute dengan konfigurasi *stinger rotation* sebesar 15° dan *tensioner capacity* sebesar 600kN dengan trim sebesar 1° untuk melakukan instalasi pada kedalaman 40m, serta *stinger rotation* sebesar 11° dan *tensioner capacity* sebesar 600kN dengan trim sebesar 1° untuk melakukan instalasi pada kedalaman 30m memberikan rata – rata tegangan dan regangan paling optimum dibanding kondisi lainnya. Hasil analisis terangkum pada tabel 3. Hasil perhitungan compressive strain dapat dilihat pada gambar 2 dan 3.

Tabel 1 Rangkuman Hasil Perhitungan Ketebalan Pipa

Tebal Dinding Pipa						
Kriteria	Kondisi					
	Instalasi		Hydrotest		Operasi	
	inci	mm	inci	mm	inci	mm
<i>Bursting</i>	-	-	0.202	5.132	0.376	9.548
<i>Collapse Failure</i>	0.13	3.3	-	-	-	-
<i>Propagation Buckling</i>	0.259	6.094	0.249	6.322	0.456	11.58
<i>Combined Loading</i>	0.133	3.39	0.172	4.375	0.355	9.025
<i>Selected Wall Thickness</i>	11.58 mm					
<i>Mill Tolerance Based on DNV Sect 7.G.</i>	Design Wall Thickness = Selected Wall Thickness + Mill Tolerance = 11.58+ (0.125*11.58)= 13.0275mm (0.512inci)					
<i>Design Wall Thickness According to API 5L</i>	API 5L OD 12.75" thickness 0.562"					

Tabel 2 Rangkuman Perhitungan Tebal Selimut Beton

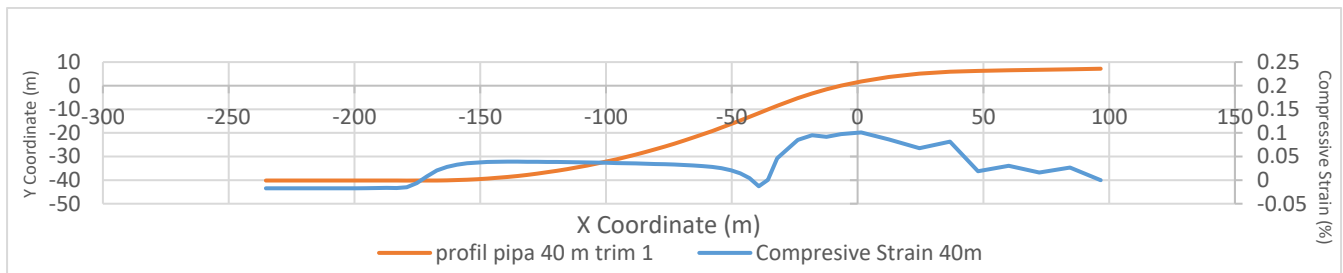
Tebal Lapisan Beton					
Instalasi		Operasi			
		No Marine Growth		Marine Growth	
inci	mm	inci	mm	inci	mm
0.157	4	2.126	54	2.323	59
Tebal Lapisan Beton yang digunakan 60 mm					

Tabel 3 Rangkuman Nilai Rata – Rata Tegangan dan Regangan

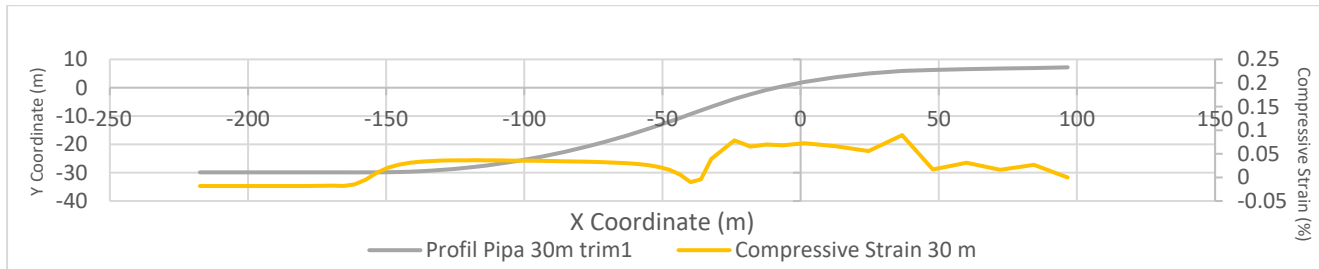
Trim (degree)	Depth (m)			
	40		30	
	<i>Overbend Strain (%)</i> *	<i>Sagbend Stress (%)</i> **	<i>Overbend Strain (%)</i> *	<i>Sagbend Stress (%)</i> **
	(%)*	(%)**	(%)*	(%)**
0	0.058	29.72	0.055	28.23
0.25	0.058	29.61	0.054	28.10
0.5	0.057	29.50	0.054	28.00
0.75	0.057	29.42	0.054	27.91
1	0.057	29.35	0.054	27.82

Note : * Regangan yang terjadi di daerah *overbend*, dengan maximum *allowable strain* sebesar 0.205%

**Rasio antara tegangan yang terjadi di daerah *sagbend* dibagi *Specified Minimum Yield Stress*, dengan nilai maksimum *allowable stress* sebesar 72%

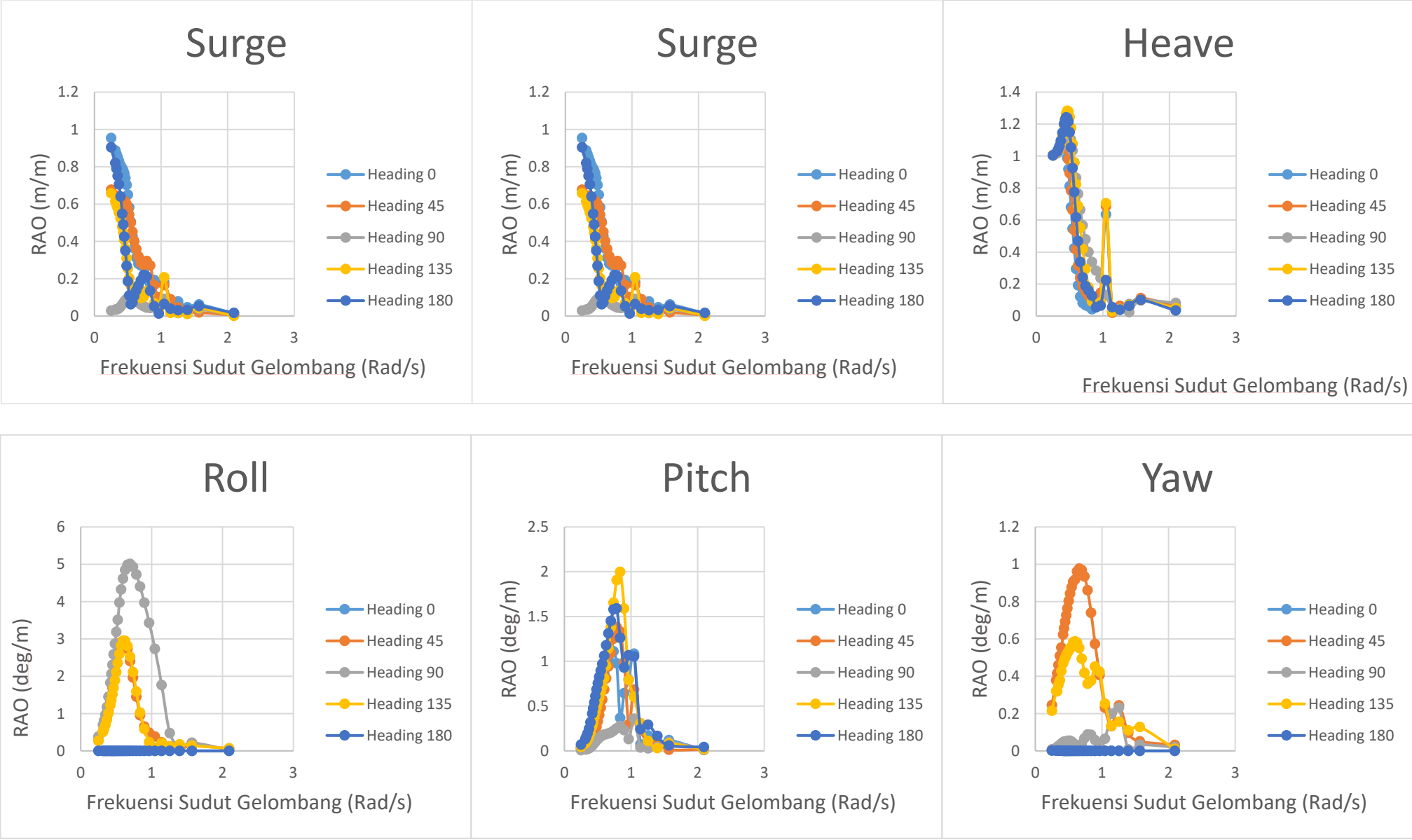


Gambar 2 *Compressive Strain* Kedalaman 40m



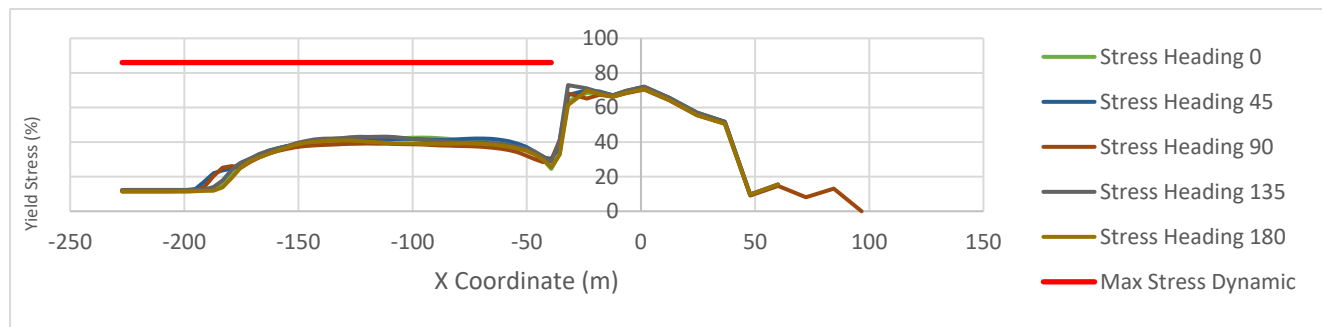
Gambar 3 *Compressive Strain* Kedalaman 30m

Dari hasil analisis instalasi statik diketahui bahwa *lay-barge* Swiber Resolute, merupakan *lay-barge* yang paling optimal untuk melakukan penggelaran pipa. Untuk analisis instalsi kondisi dinamik, lambung dari *lay-barge* Swiber Resolute dimodelkan untuk mendapatkan *Response Amplitude Operator* (RAO) pergerakan barge. Berikut adalah RAO yang didapatkan dari hasil pemodelan.

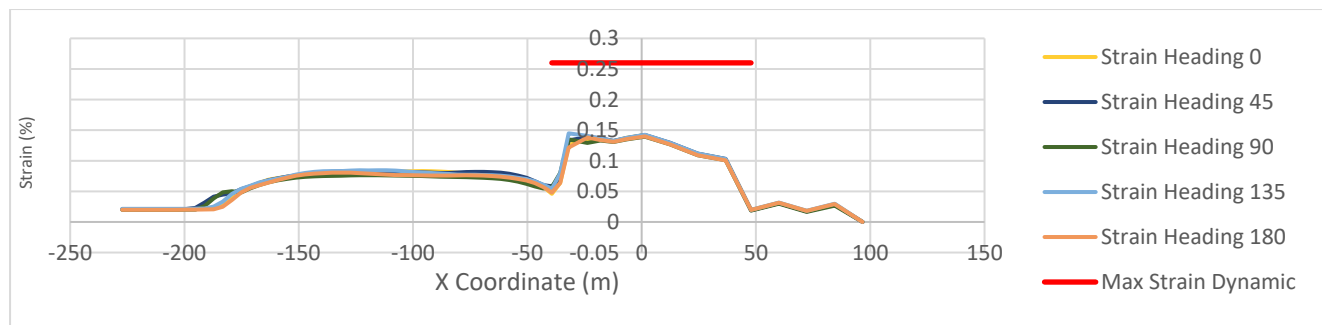


Gambar 4 *Response Amplitude Operator Swiber Resolute*

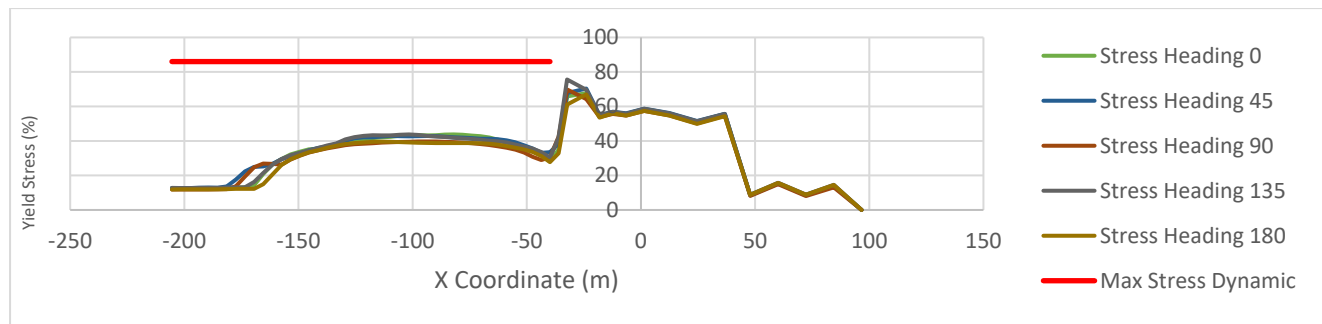
Nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada pipa yang didapat dari analisis instalasi kondisi dinamik dapat dilihat pada gambar 6 dan 7 untuk kedalaman 40m serta gambar 8 dan 9 untuk kedalaman 30m.



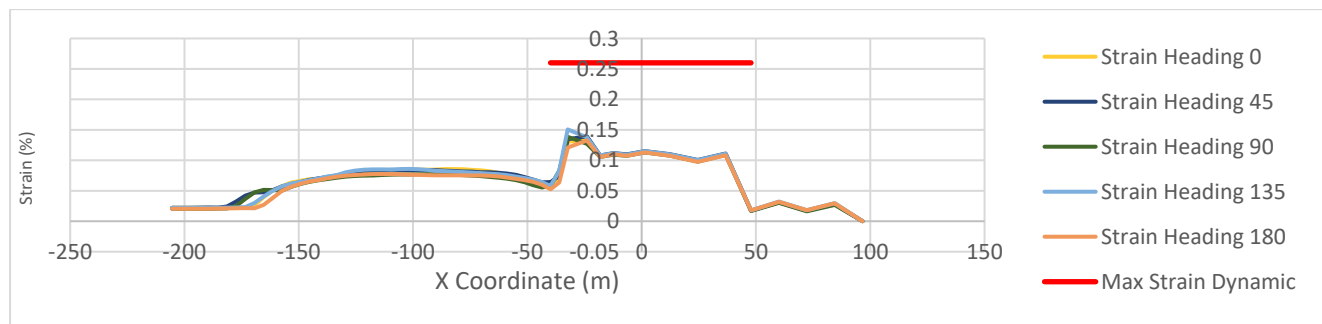
Gambar 5 Tegangan *Pipeline* Pada Kedalaman Perairan 40 m



Gambar 6 Regangan *Pipeline* Pada Kedalaman Perairan 40 m



Gambar 7 Tegangan *Pipeline* Pada Kedalaman Perairan 30 m



Gambar 8 Regangan *Pipeline* Pada Kedalaman Perairan 30 m

Berikut table rangkuman nilai maksimum tegangan dan regangan yang terjadi dari berbagai arah *heading* pada kedalaman 30 dan 40 meter.

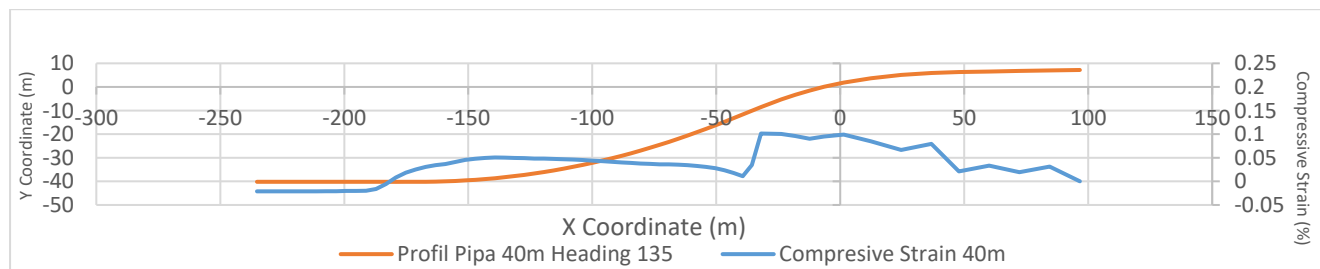
Tabel 4 Rangkuman Nilai Maksimum Tegangan dan Regangan

Heading (degree)	Kedalaman (m)			
	40		30	
	Overbend Strain (%)*	Sagbend Stress (%)**	Overbend Strain (%)*	Sagbend Stress (%)**
0	0.1421	42.58	0.1338	43.77
45	0.1421	42.04	0.1393	42.83
90	0.1393	39.17	0.1384	39.71
135	0.1448	43.12	0.1407	43.75
180	0.1393	41.01	0.1326	39.6

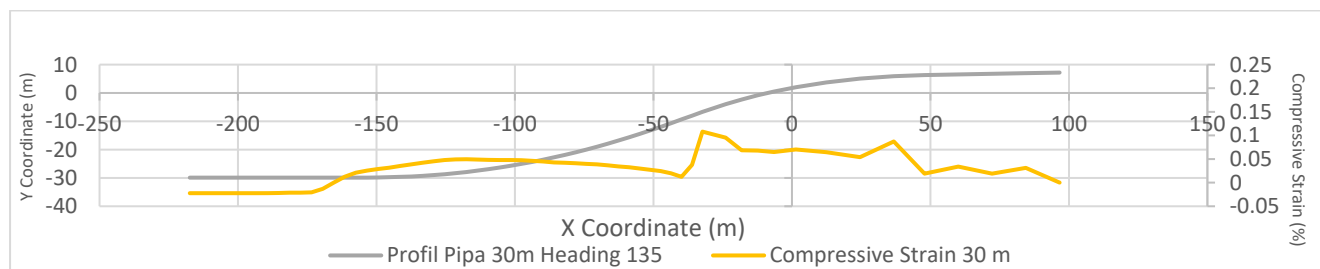
Note : * Regangan yang terjadi di daerah *overbend*, dengan maximum *allowable strain* sebesar 0.260%

**Rasio antara tegangan yang terjadi di daerah *sagbend* dibagi *Specified Minimum Yield Stress*, dengan nilai maksimum *allowable stress* sebesar 87%

Dari konfigurasi dengan heading dari arah 135°, dilakukan pengecekan terhadap compressive strain yang terjadi. Hasil perhitungan dapat dilihat pada grafik dibawah



Gambar 9 *Compressive Strain* Kedalaman Perairan 40m



Gambar 10 *Compressive Strain* Kedalaman Perairan 30m

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pengerjaan karya tulis ini dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Ketebalan pipa yang digunakan adalah sebesar 14.3 mm atau 0.562 inci.
2. Ketebalan concrete coating pipa yang digunakan adalah sebesar 60 mm
3. Berdasarkan analisis instalasi statik, *Lay-Barge Swiber Rolute* merupakan *lay-barge* yang optimum untuk digunakan untuk kegiatan instalasi.
4. Konfigurasi *stinger rotation* 15°, *tensioner capacity* 600kN, *trim* 1 untuk kedalaman 40m°, konfigurasi *stinger rotation* 11°, *tensioner capacity* 600kN, *trim* 1° untuk kedalaman 30m memberikan rata – rata regangan dan tegangan terkecil dibanding konfigurasi lainnya.
5. Nilai tegangan, regangan, serta *compressive strain* pada analisis instalasi kondisi statik, memenuhi *acceptance criteria* berdasarkan kriteria DNV OS F 101.
6. Beban akibat gelombang dan arus yang menyebabkan terjadinya tegangan dan regangan terbesar merupakan beban dengan *heading* dari arah 135°.
7. Nilai tegangan, regangan, serta *compressive strain* pada analisis instalasi kondisi dinamik memenuhi *acceptance criteria* berdasarkan kriteria DNV OS F 101.
8. Dari analisis instalasi kondisi dinamik dan statik pada kedalaman 40 meter dan 30 meter, diketahui bahwa tegangan, regangan, dan *compressive strain* yang terjadi sebagai berikut.

Tabel 5 Perbandingan Tegangan, Regangan, dan Compressive Strain

Parameter	Kedalaman (m)			
	40		30	
	Dinamik	Statik	Dinamik	Statik
<i>Stress di Sagbend (%)</i> *	43.12	36.7	43.75	36.2
<i>Stress di Overbend (%)</i> *	72.96	68.86	71.87	58.7
<i>Strain di Sagbend (%)</i>	0.0844	0.0715	0.086	0.0703
<i>Strain di Overbend (%)</i>	0.145	0.137	0.141	0.115
<i>Compressive Strain (%)</i>	0.101	0.101	0.108	0.089

Note: **Rasio antara tegangan yang terjadi di daerah *bend* dibagi *Specified Minimum Yield Stress*

Saran yang dapat diberikan setelah melakukan Tugas Akhir ini adalah :

1. Perlu diperoleh data barge yang lebih lengkap khususnya data *metacentric height* agar model yang dibuat dapat diverifikasi.

2. Perlu dilakukan *mooring analysis* untuk mengetahui kondisi gelombang yang diijinkan menghantam barge dengan berbagai skenario pola mooring agar penggelaran pipa tetap dapat dilakukan sesuai dengan *acceptance criteria* yang berlaku.
3. Perlu dilakukan *abandonment & recovery Analysis* untuk memastikan selama proses *lifting* dan *laydown* berlangsung tegangan dan regangan yang terjadi memenuhi *acceptance criteria* yang berlaku

DAFTAR PUSTAKA

- Bai, Yong. 2002. *Pipelines and Risers*. Amsterdam : Elsevier
- Bai, Y. & Bai, Q. 2005. *Subsea Pipelines and Risers*, United Kingdom: Elsevier
- Chakrabarti, S K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structure*. United Kingdom : Computational Mechanics Publication
- Chakrabarti, S K. 1987. *Handbook of Offshore Engineering Volume 1*. United Kingdom : Elsevier
- Chakrabarti, S K. 1987. *Handbook of Offshore Engineering Volume 2*. United Kingdom : Elsevier
- Det Norske Veritas. 2007. *DNV OS F101 Submarine Pipeline Systems*. Oslo : Veritas Offshore Technology and Services A/S.
- Det Norske Veritas. 2010. *DNV RP F109 On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*. Oslo : Veritas Offshore Technology and Services A/S.
- Folmen, Derpris. 2013. Analisis Instalasi Pipa Bawah Laut di Lepas Pantai Madura Barat. Program Studi Teknik Kelautan, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Gou, Boyun et. al. 2005. *Offshore Pipelines*. Burlington, USA : Elsevier
- J.M.J. Journée and J.A. Pinkster. 2001. *Ship Hydromechanics Part I: Introduction Draft Edition*. Ship Hydromechanics Laboratory, Delft University of Technology
- Lee, Jaeyong. 2007. *Introduction to Offshore Pipelines and Risers*.
- Lubis, M.B., 2013. Analisis Struktur Penyangga Sistem Terapung untuk Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Arus Pasang Surut. Program Studi Teknik Kelautan, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Moses, 2013. *Reference Manual for Moses*. Houston : Ultramarine

- Malahy, R.C.1996. Offpipe User's Guide.Houston : OffpipePutri, Rieska M.2013. Desain Offshore Pipeline di Selat Madura. Program Studi Teknik Kelautan, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Tawekal, Ricky L.2012.KL 4221 Bangunan Lepas Pantai 2 Sub Bahasan : Desain Pipa Bawah Laut.Institut Teknologi Bandung,Penerbit ITB,Bandung.
- Tawekal, Ricky L.2011.KL 4131 Dasar-Dasar Teknik Perkapalan.Institut Teknologi Bandung,Penerbit ITB,Bandung.