

STUDI KASUS STRUKTUR PIPA *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* BAWAH LAUT DI TELUK SENUNU NUSA TENGGARA BARAT

Muhammad Mukhlis¹⁾ dan Krisnaldi Idris, Ph.D²⁾

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan, FTSL, ITB

¹⁾mhmmd.mkhls@gmail.com dan ²⁾krisnaldi@gmail.com

Kata Kunci : *pipeline*, HDPE, Senunu, *bottom-pull*

Abstrak : Pipa penyalur dengan berbahan HDPE dipakai sebagai pipa penyalur bahan sisa tambang berupa *slurry* pada suatu lokasi studi di Teluk Senunu, Nusa Tenggara Barat. Dikarenakan sifatnya yang lebih ringan dari air laut (massa jenis pipa HDPE 941-959 kg/m³), membuat struktur pipa HDPE yang dipasang di daerah lepas pantai susah untuk mendapatkan keseimbangan. Sehingga dibutuhkan analisis mengenai pemasangan pemberat berbahan beton yang digunakan untuk membantu struktur pipa HDPE itu mencapai keseimbangan. Dalam kasus ini dilakukan analisa-analisa seperti : analisa keseimbangan di dasar laut berdasarkan DNV RP E305, analisa bentang bebas statis dan analisa bentang bebas dinamis berdasarkan DNV RP F105. Dimodelkan juga metode penggantian pipa *bottom-pull*. Metode tersebut digunakan sebagai upaya mitigasi untuk mengganti pipa HDPE yang ketebalannya mulai menipis akibat tererosi bahan *slurry*. Pemodelan *bottom-pull* dilakukan dengan membandingkan 4 kondisi : tidak terdapat gelombang dan arus, gelombang datang dari tenggara, gelombang datang dari barat dan gelombang datang dari selatan. Arah datang gelombang tersebut ditentukan dari 3 arah datang gelombang paling dominan dari hasil *hindcasting*.

PENDAHULUAN

Selain pemanfaatannya untuk transportasi minyak dan gas, pipa bawah laut juga dapat digunakan untuk pembuangan limbah dan juga transportasi air laut. Pipa HDPE dipilih sebagai solusi bahan dasar yang kebal terhadap korosi galvanis. Dikarenakan massa jenis yang lebih kecil daripada air laut, dibutuhkan struktur pemberat pada struktur pipa HDPE bawah laut, oleh karena itu analisa mengenai kestabilan pipa HDPE untuk kasus pipa saat instalasi dan beroperasi sangat dibutuhkan untuk memastikan pipa bawah laut tersebut dapat terbentang dan beroperasi dengan baik. Selain itu dibutuhkan pula suatu rencana mitigasi dari pipa HDPE akibat penggerusan oleh bahan buangan limbah secara terus menerus, dalam studi kasus ini metode *bottom-pull* dipilih sebagai

upaya penggantian pipa lama dengan pipa yang baru pada struktur pipa HDPE bawah laut. Lokasi studi struktur pipa HDPE bawah laut yang ditinjau berada di Teluk Senunu, Sumbawa Barat. Struktur pipa HDPE merupakan pipa pembuangan sepanjang 2.75 kilometer yang menyalurkan *slurry* dari darat menuju laut.



Gambar 1 : Lokasi Studi

METODOLOGI

Secara umum, studi kasus ini dibagi menjadi tiga tahapan besar, yaitu perhitungan parameter gelombang, analisa jarak pemasangan antar pemberat beton dan pemodelan metode penggantian pipa *bottom-pull*. Perhitungan parameter gelombang dan analisa jarak pemasangan antar pemberat beton dilakukan pada 10 lokasi titik wakil disepanjang bentangan pipa HDPE bawah laut.



Gambar 2 : Titik Wakil Lokasi Studi

- Perhitungan parameter gelombang menggunakan data angin melalui metode *Hindcasting* untuk mengetahui tinggi dan periode gelombang pada perairan dalam berdasarkan SPM 1984. Selanjutnya data gelombang diproses untuk mendapatkan gelombang dengan periode

ulang dengan analisa nilai ekstrim untuk periode ulang 1, 10, 50 dan 100 tahunan. Data gelombang rencana tersebut selanjutnya akan diolah perambatannya menuju daratan dengan perangkat lunak, sehingga dapat diketahui parameter gelombang pada 10 titik wakil disepanjang pipa tersebut.

- Analisa pemasangan jarak antar pemberat beton tersebut terdiri dari analisa keseimbangan di dasar laut, analisa bentang bebas statis dan dinamis. Analisa-analisa tersebut dilakukan dengan merujuk kepada kode praktis yang telah mapan seperti DNV RP E305 (untuk analisa keseimbangan di dasar laut) dan DNV RP F105 (untuk analisa bentang bebas dinamis). Kecuali pada analisa bentang bebas statis, digunakan peninjauan struktur dengan asumsi batang dengan tumpuan sederhana. Ketiga analisa itu dilakukan untuk 2 kondisi, yaitu kondisi instalasi dan operasi. Kondisi instalasi menggunakan data lingkungan 1 tahunan dan bermuatan air, sedangkan kondisi operasi menggunakan data lingkungan 100 tahunan dan bermuatan *slurry*. Di asumsikan juga asumsi tumpuan *fixed-fixed* atau *pinned-pinned* untuk analisa bentang bebas.
- Pemodelan *bottom-pull* pada struktur pipa HDPE dengan menggunakan perangkat lunak simulasi dinamik struktur fleksibel.

HASIL DAN ANALISIS

Didapatkan dominansi arah datang gelombang dari proses *hindcasting* : selatan, tenggara dan barat. Hasil dari data gelombang pada ketiga arah tersebut pada 10 titik wakil pada lokasi studi adalah sebagai berikut.

Tabel 1 : Tinggi dan Arah Gelombang (Gelombang Datang Selatan)

Periode Ulang	100 Tahunan			10 Tahunan			1 Tahunan		
Lokasi	Hm0 (m)	β (Deg)	Tp (s)	Hm0 (m)	β (Deg)	Tp (s)	Hm0 (m)	β (Deg)	Tp (s)
P2	4.3	3.93	9.59	1.51	9.69	7.02	2.44	49.66	4.61
P3	4.35	9.43		2.38	1.42		1.17	1.7	
P4	5.88	2.44		4.87	29.42		1.93	2.29	
P5	4.46	7.14		2.51	2.3		1.53	19.19	
P6	5.78	0.58		4.83	13.12		1.13	19.74	
P7	5.51	7.86		2.47	13.92		2.03	64.13	
P8	5.46	3.23		3.53	2.94		1.71	1.6	
P9	5.77	4.24		3.1	11.27		1.73	41.35	

Periode Ulang	100 Tahunan			10 Tahunan			1 Tahunan		
Lokasi	Hm0 (m)	β (Deg)	Tp (s)	Hm0 (m)	β (Deg)	Tp (s)	Hm0 (m)	β (Deg)	Tp (s)
P10	5.77	4.25		2.71	7.56		1.83	5.03	
P11	5.84	6.26		3.18	8.13		1.42	1.43	

Tabel 2 : Tinggi dan Arah Gelombang (Gelombang Datang Barat)

Periode Ulang	100 Tahunan			10 Tahunan			1 Tahunan		
Lokasi	Hm0 (m)	β (Deg)	Tp (s)	Hm0 (m)	β (Deg)	Tp (s)	Hm0 (m)	β (Deg)	Tp (s)
P2	3.04	29.11	9.59	2.1	59.99	7.02	1.2	74.87	4.61
P3	2.64	44.38		2.77	78.69		0.91	92.43	
P4	2.85	57.05		2.05	84.84		1.35	83.72	
P5	2.85	59.13		2.41	92.32		1.42	92.79	
P6	2.87	71.15		3.54	81.12		1.18	88.55	
P7	3.75	83.47		2.3	92.16		1.05	86	
P8	5.12	91.9		3.37	77.76		1.7	59.04	
P9	5.39	92.71		2.49	91.08		1.48	94.08	
P10	5.98	94.79		2.61	89		1.61	86.35	
P11	5.4	93.57		3.18	80.52		2.18	69.74	

Tabel 3 : Tinggi dan Arah Gelombang (Gelombang Datang Tenggara)

Periode Ulang	100 Tahunan			10 Tahunan			1 Tahunan		
Lokasi	Hm0 (m)	β (Deg)	Tp (s)	Hm0 (m)	β (Deg)	Tp (s)	Hm0 (m)	β (Deg)	Tp (s)
P2	4.24	5.46	9.59	3.66	5.42	7.02	1.73	66.06	4.61
P3	4.52	23.71		4.23	40		0.89	37.42	
P4	3.78	26.29		2.83	0.49		1.53	51.77	
P5	4.56	31.03		3.34	39.12		2.99	48.69	
P6	5.06	32.84		2.99	38.71		0.9	16.88	
P7	5.74	35.7		3.19	41.16		0.93	8.34	
P8	5.42	40.71		3.23	44.18		2.57	53.01	
P9	5.81	41.01		3.3	46.93		0.94	42.33	
P10	5.56	38.8		3.22	42.15		1.6	45.98	
P11	6.21	44.18		3.76	46.88		1.56	69.92	

Pada analisa keseimbangan di dasar laut, didapat hasil jarak antar pemberat beton efektif yang cukup untuk menyeimbangkan struktur secara vertikal dan horizontal dari kondisi lingkungan pada titik-titik wakil.

Tabel 4 : Jarak Pemasangan Pemberat Maksimum

Lokasi	Jarak Antar Pemberat (m)	Operation		Installation	
		S_V	S_H	S_V	S_H
P2	23.5	2.119	7.025	1.191	1.103
P3	42	2.102	8.177	1.101	2.821
P4	42	2.102	8.696	1.101	4.569
P5	42	2.102	9.831	1.101	3.297
P6	42	2.102	8.772	1.101	2.284
P7	42	2.102	7.055	1.101	1.47
P8	42	2.102	6.812	1.101	1.502
P9	42	2.102	8.211	1.101	1.86
P10	42	2.102	12.472	1.101	2.302
P11	42	2.102	15.505	1.101	2.302

Pada kondisi operasi pipa cenderung memiliki faktor keamanan yang tinggi dikarenakan muatan pada kondisi ini cukup berat (*slurry*, bermassa jenis 2790 kg/m^3). Sedangkan pada kondisi instalasi, pada kondisi ini muatan hanya berupa air (1000 kg/m^3) sehingga sangat sulit untuk menyeimbangkan dengan gaya apung yang terjadi. Namun pipa cukup kuat untuk menyeimbangkan dengan gaya pada arah horizontal, kecuali pada lokasi P2 dikarenakan percepatan partikel air pada lokasi tersebut (akibat gelombang) cukup besar.

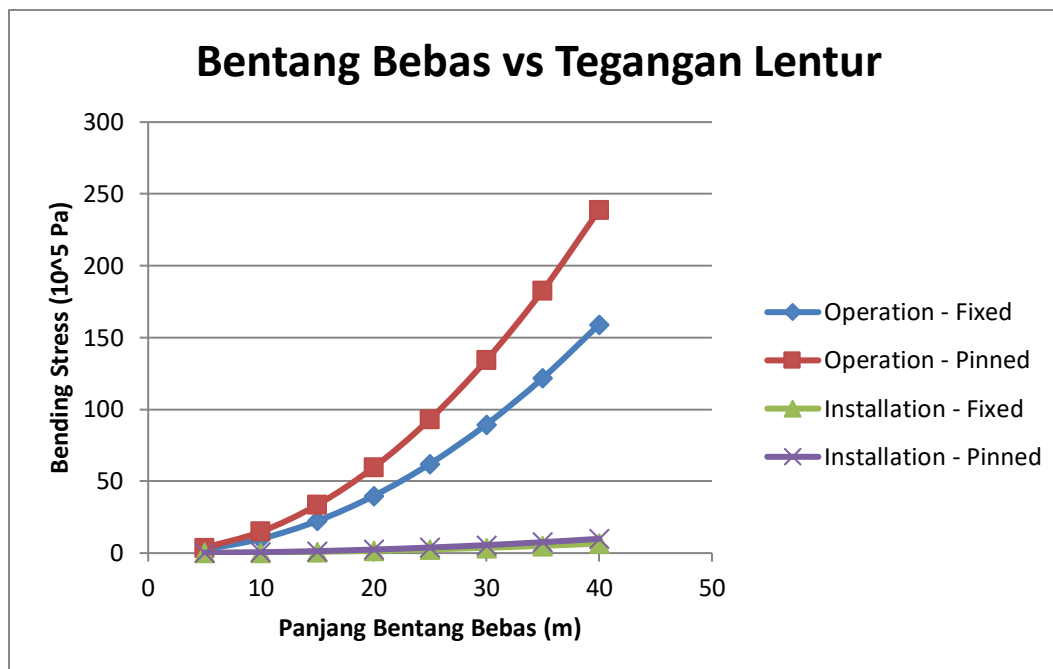
Pada analisa bentang bebas statis, diketahui kriteria yang mempengaruhi beserta dengan panjang bentang maksimum yang diperbolehkan pada lokasi titik wakil.

Tabel 5 : Kriteria yang Mempengaruhi Bentang Bebas Statis

Lokasi	Jarak Antar Pemberat Maksimum (m)	Governing Criteria	
		Kondisi	Asumsi Tumpuan
P2	32.5	Operasi	Pinned-Pinned
P3	32.7	Operasi	Pinned-Pinned
P4	32.9	Operasi	Pinned-Pinned
P5	33.3	Operasi	Pinned-Pinned

Lokasi	Jarak Antar Pemberat Maksimum (m)	Governing Criteria	
		Kondisi	Asumsi Tumpuan
P6	33.4	Operasi	Pinned-Pinned
P7	33.6	Operasi	Pinned-Pinned
P8	33.8	Operasi	Pinned-Pinned
P9	34.1	Operasi	Pinned-Pinned
P10	34.6	Operasi	Pinned-Pinned
P11	35.6	Operasi	Pinned-Pinned

Hal itu dikarenakan bentang bebas dengan kondisi tumpuan *pinned-pinned* akan menghasilkan tegangan lentur yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi tumpuan *fixed-fixed*, dibuktikan pada gambar dibawah ini. Dengan nilai positif dan negatif hanya berupa arah tegangan. Dapat dilihat bahwa berat *slurry* sangat mempengaruhi tegangan lentur pada struktur pipa.



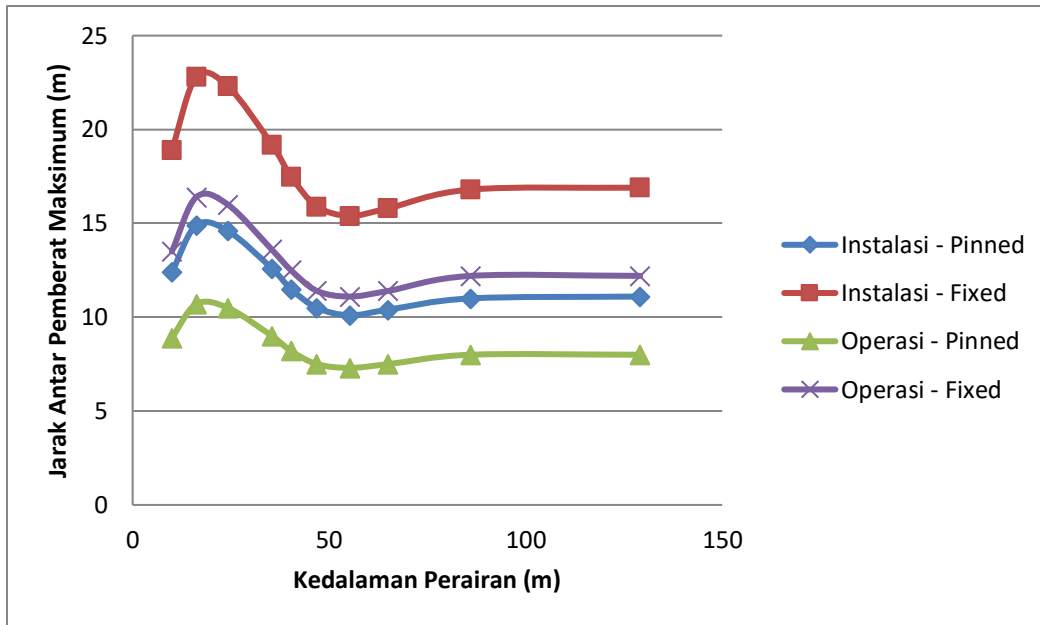
Gambar 3 : Bentang Bebas vs Tegangan Lentur

Selanjutnya analisa yang dilakukan adalah analisa bentang bebas dinamik. Hasil dari analisa bentang bebas dinamik menunjukkan bahwa parameter yang mempengaruhi kriteria untuk lolos *screening fatigue* adalah parameter lingkungan. Berikut ini adalah hasil dari bentang bebas dinamik.

Tabel 6 : Kriteria yang Mempengaruhi Bentang Bebas Dinamik

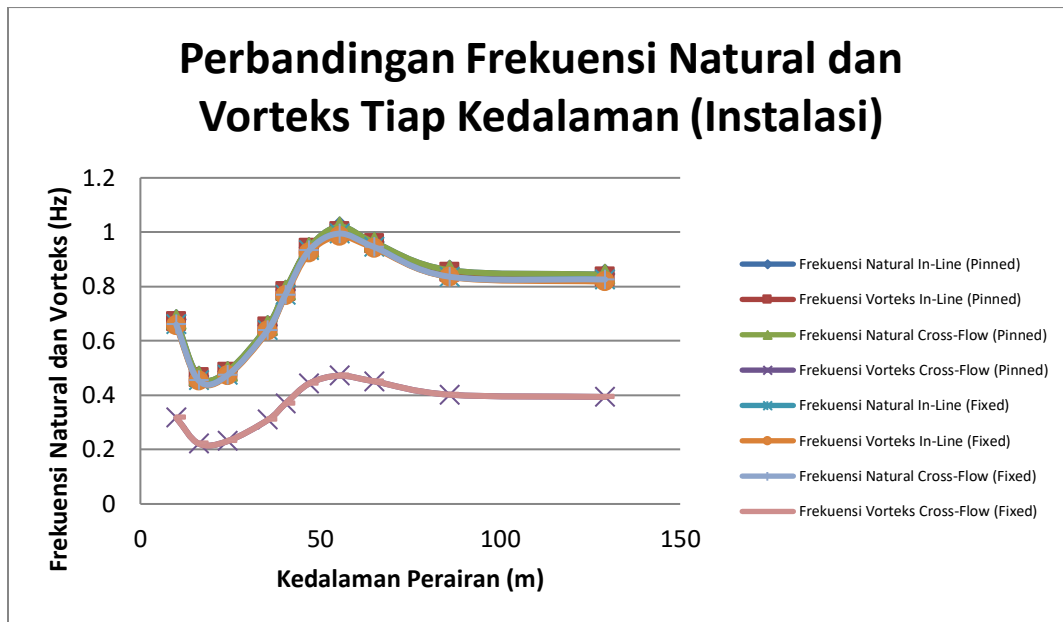
Lokasi	Jaran Antar Pemberat Maksimum (m)	Defleksi Statik (m)	Governing Criteria	
			Kondisi	Asumsi Tumpuan
P2	8.9	0.077	Operasi	<i>Pinned-Pinned</i>
P3	10.7	0.162		
P4	10.5	0.15		
P5	9	0.081		
P6	8.2	0.056		
P7	7.5	0.039		
P8	7.3	0.035		
P9	7.5	0.039		
P10	8	0.051		
P11	8	0.051		

Gambar dibawah ini adalah grafik dari jarak pemasangan pemberat untuk setiap kedalamannya untuk kedua kondisi analisis dan asumsi tumpuan.

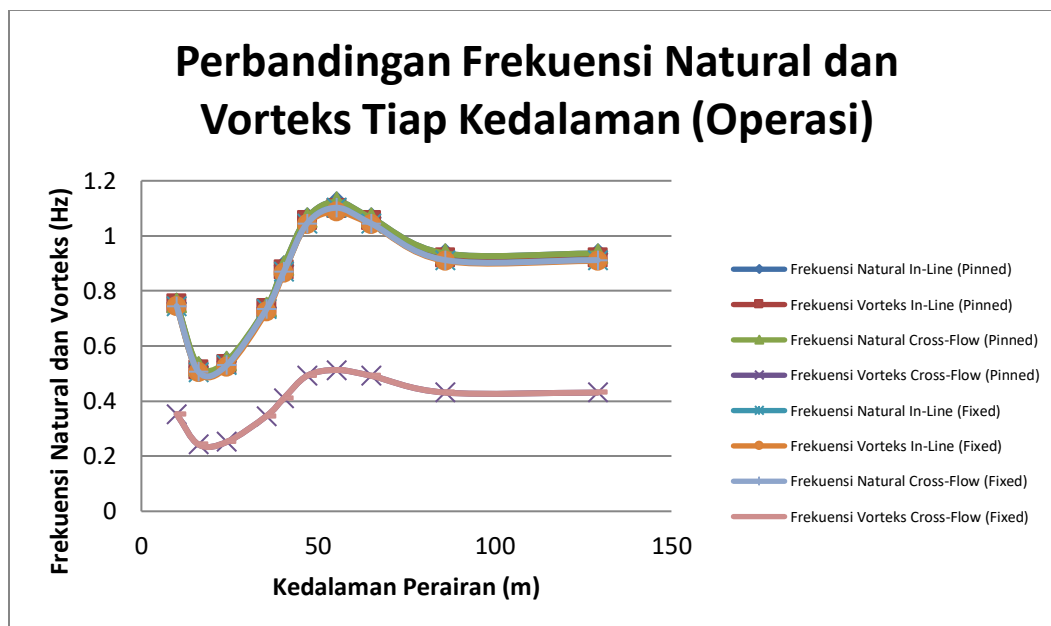


Gambar 4 : Jarak Antar Pemberat Maksimum per Kedalaman

Sedangkan untuk perbandingan frekuensi natural dan vorteks tiap kedalamannya dapat dilihat pada gambar-gambar dibawah ini.



Gambar 5 : Perbandingan Frekuensi Natural dan Vorteks Tiap Kedalaman (Instalasi)



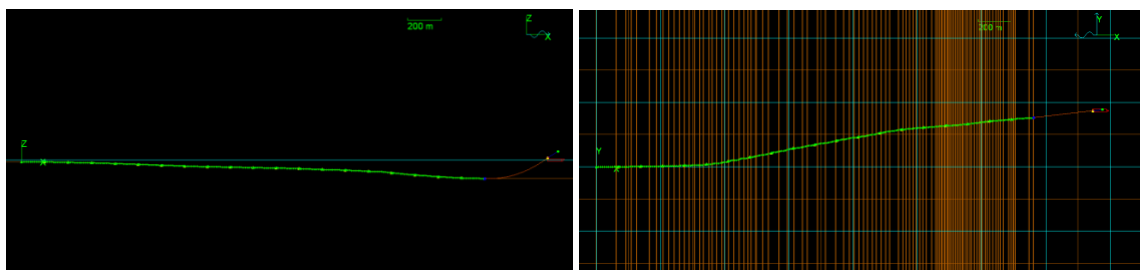
Gambar 6 : Perbandingan Frekuensi Natural dan Vorteks Tiap Kedalaman (Operasi)

Frekuensi vorteks untuk arah *cross-flow* untuk tiap asumsi tumpuan memiliki jarak nilai apabila dibandingkan dengan frekuensi natural struktur dan frekuensi vorteks arah *in-line*. Sehingga kriteria yang amat menentukan penentuan panjang pemasangan beton pemberat pada struktur pipa HDPE adalah perbandingan frekuensi natural pipa dengan frekuensi vorteks arah *in-line*. Hal ini dikarenakan frekuensi vorteks arah *in-line* berubah seiring bertambah panjangnya bentang bebas yang terjadi. Namun hal tersebut tidak berlaku pada frekuensi vorteks arah *cross-flow* yang bergantung kepada kecepatan aliran dan *reduced velocity* yang nilainya berubah terhadap berat struktur pipa.

Pada kondisi operasi, frekuensi natural dari pipa bawah laut juga meningkat apabila dibandingkan kondisi instalasi. Hal ini dikarenakan faktor penambahan berat dari struktur, yaitu muatan dalam pipa pada kondisi operasi dan instalasi.

Dapat dilihat juga bahwa bentang bebas yang dihasilkan sangat bergantung dengan frekuensi natural dari pipa. Semakin tinggi frekuensi natural pipa, semakin kecil bentang bebas yang diperbolehkan. Begitu halnya dengan kejadian sebaliknya, semakin kecil frekuensi natural pipa, maka akan semakin besar bentang bebas yang diperbolehkan.

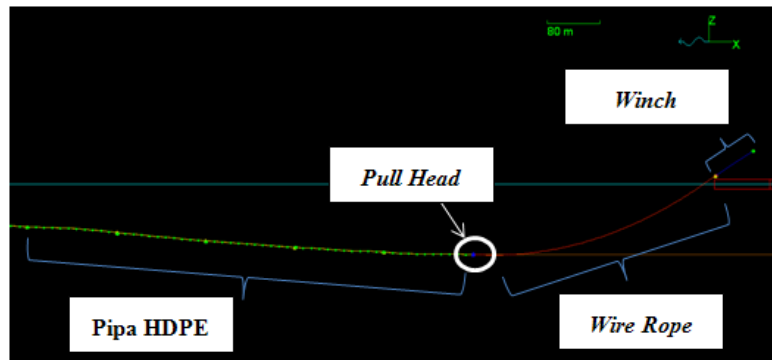
Setelah melakukan ketiga analisa diatas pada struktur pipa HDPE, selanjutnya akan dimodelkan upaya mitigasi penggantian pipa dengan metode *bottom-pull*. Metode tersebut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak simulasi dinamik struktur fleksibel. Gambaran tentang pemodelan dengan perangkat lunak tersebut dapat dilihat pada gambar-gambar dibawah ini.



(a)

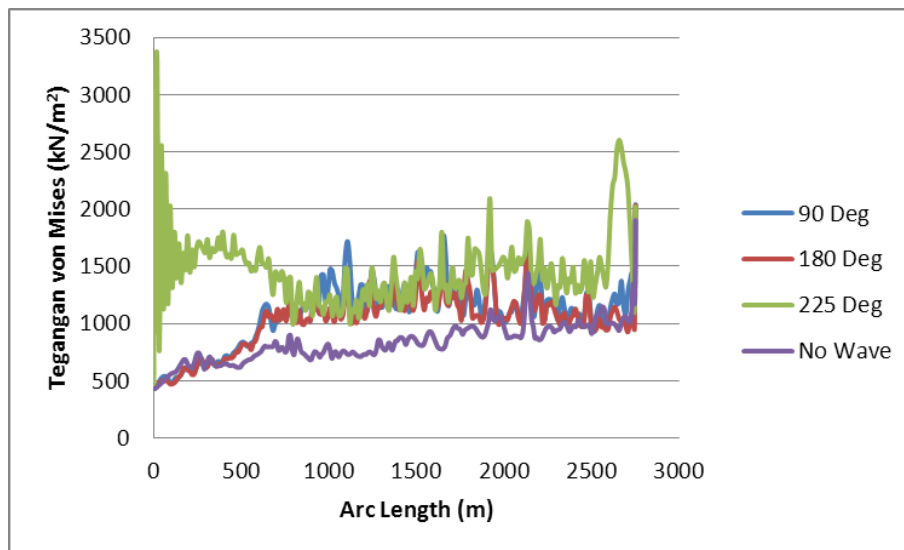
(b)

Gambar 7 : Konfigurasi Model (a. Tampak Samping, b. Tampak Atas)

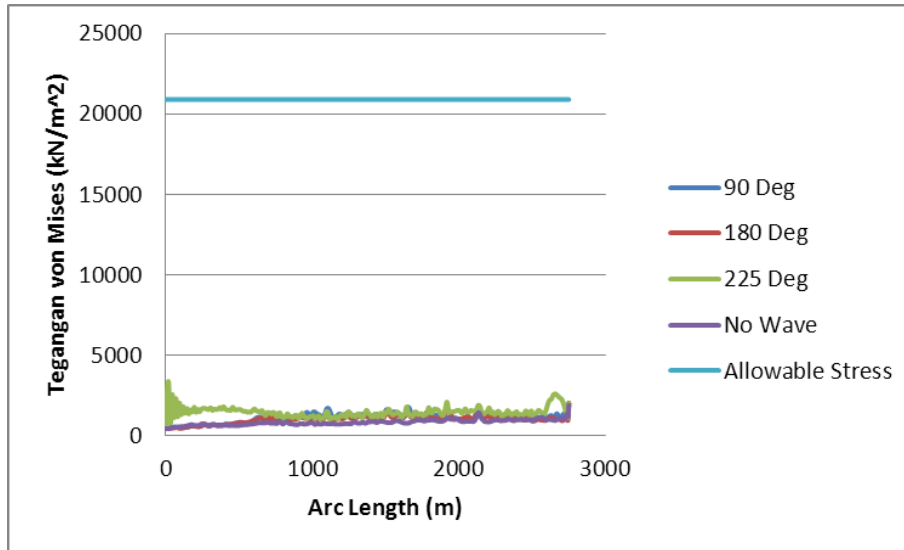


Gambar 8 : Konfigurasi Objek

Pipa disimulasikan akan ditarik oleh *winch* hingga bertranslasi sebesar 12.2 meter searah sumbu x (perjanjian koordinat dengan perangkat lunak). Pemodelan dilakukan untuk 3 arah gelombang dan kondisi tanpa gelombang untuk melihat kontribusi gelombang terhadap tegangan. Hasil yang didapat dari simulasi dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini.

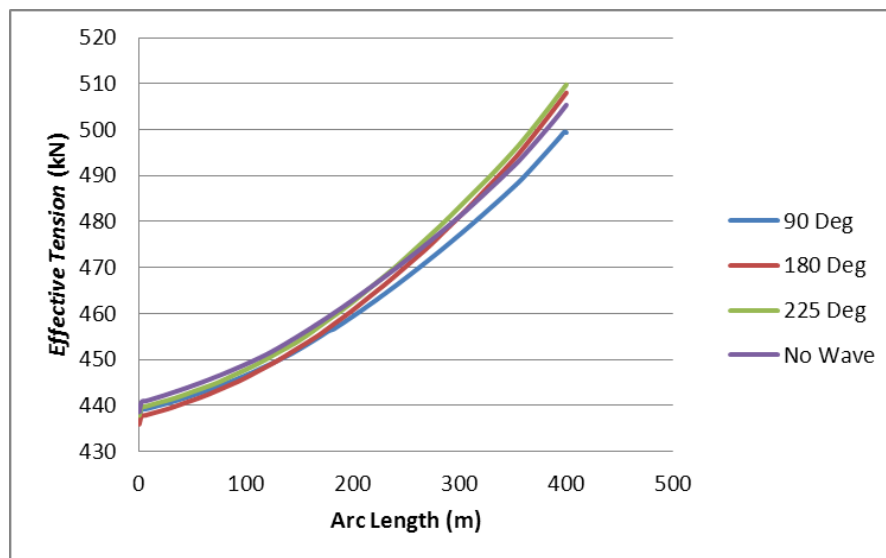


Gambar 9 : Perbandingan Tegangan von Mises

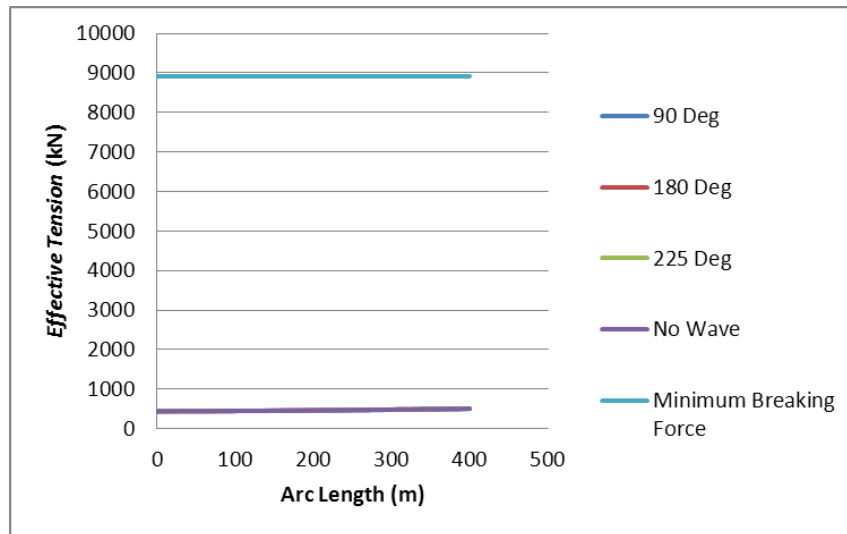


Gambar 10 : Tegangan Pipa vs Tegangan Ijin

Lalu hasil simulasi pada tali penarik (*wire rope*) adalah sebagai berikut.



Gambar 11 : Gaya Tarik Efektif pada *Wire Rope*



Gambar 12 : Gaya Tarik Efektif vs *Minimum Breaking Load*

Pada akhirnya, pemodelan *bottom-pull* telah selesai dan mendapatkan hasil yang sangat aman. Dapat dilihat dari tegangan von Mises yang terjadi pada pipa tidak melewati tegangan ijinnya, begitu juga dengan gaya tarik efektif yang terjadi pada *wire rope* yang nilainya sangat jauh dibandingkan dengan *Minimum Breaking Load*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari studi kasus yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, dicapai suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Data gelombang dari data angin selama 20 tahun pada setiap titik wakil berhasil didapatkan. Data gelombang yang didapat pada setiap lokasi tersebut terdiri dari gelombang rencana 1 tahunan, 10 tahunan, 50 tahunan dan 100 tahunan dengan tiga arah gelombang dengan probabilitas kejadian tertinggi merupakan gelombang yang terbentuk dari arah mata angin tenggara, selatan dan barat.
2. Jarak antar pemberat dari struktur pipa HDPE berhasil ditentukan dari 3 analisis : analisis stabilitas di dasar laut, bentang bebas statik dan bentang bebas dinamik. Kriteria yang paling berpengaruh dalam penentuan jarak antar pemberat berada pada analisis bentang bebas dinamik pada kondisi operasi dengan asumsi tumpuan *pinned-pinned* dengan jarak antar pemberat yang diperbolehkan adalah sebesar 8 meter.
3. Analisis pemodelan metode *bottom-pull* dengan menggunakan perangkat lunak simulasi dinamik gagal dilakukan, dikarenakan tidak merepresentasikan kegiatan yang sebenarnya,

namun bisa dijadikan acuan dengan melihat tegangan yang terjadi pada struktur tersebut. Metode *bottom-pull* yang dimodelkan tersebut aman diaplikasikan pada struktur pipa HDPE dengan konfigurasi dan kondisi lingkungan yang terjadi pada lokasi studi. Tegangan yang terjadi akibat metode tersebut masih dibawah kondisi ijin struktur tersebut, baik pipa maupun *wire rope*.

Saran yang diajukan oleh penulis setelah mengerjakan seluruh rangkaian studi dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Tugas Akhir ini memerlukan pendalaman studi kasus khusus tentang bentang bebas dinamik pada struktur pipa HDPE. Untuk tahap selanjutnya, sebaiknya mahasiswa yang ingin melanjutkan dengan meninjau struktur ini meneliti bentang bebas struktur ini dengan penurunan analitis dan membandingkannya dengan kode DNV RP-F105.
2. Penggunaan perangkat lunak yang digunakan pada Tugas Akhir ini kurang bisa memodelkan metode *bottom-pull* dengan baik. Dalam kasus ini, struktur beton pemberat yang dapat membatasi pergerakan vertikal dan horizontal pipa HDPE tidak dapat dimodelkan. Sehingga diberlakukan asumsi yang membuat konfigurasi sistem tidak sama dengan aslinya.
3. Pemodelan analisis instalasi *bottom-pull* ini diperlukan studi yang lebih lanjut dan disempurnakan. Konfigurasi *barge* dan *winch* perlu diketahui dan dipelajari lebih lanjut, skenario dari pemodelan ini harus lebih banyak untuk mengetahui hasil instalasi yang optimal (misal, meminimalkan parameter kekuatan tali). Diperlukan juga validasi dari model dengan perhitungan analitis.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrianto, N. S. (2011). Perhitungan Tebal Pipa HDPE dan Analisis On-Bottom Stability Pada Sistem Perpipaan Tailing Bawah Laut Studi Kasus: Batu Hijau Submarine Tailing Disposal. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- American Petroleum Institute. (2007). API Recommended Practice 2A. American Petroleum Institute.
- Bai, Y., & Bai, Q. (2005). Subsea Pipelines and Risers. Elsevier.
- BiblioCAD. (2014). BiblioCAD. Retrieved from http://www.bibliocad.com/library/world-map_15891
- Brigham Young University – Environmental Modeling Research. (2004, February 10). Surface Water Modelling System Tutorials.
- Department of the Army, US Army Corps of Engineers. (1984). Shore Protection Manual. Washington, DC: Dept. of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center.
- Det Norsk Veritas. (1988). DNV-RP E305 : On-bottom Stability Design Of Submarine Pipelines.
- Det Norsk Veritas. (2006). DNV RP-F105 : Free Spanning Pipeline.
- Fyrileiv, O., & Collberg, L. (2005). Influence of Pressure in Pipeline Design - Effective Axial Force. 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE 2005). Veritasveien 1, N-1322 Høvik, Norway: ASME.
- Google. (2014). Google Earth. Retrieved 2014
- Guo, B., Song, S., Chacko, J., & Ghalambo, A. (2005). Offshore Pipelines. South Australia: Standards and Technical Publications.
- Idris, K. (2008). Calculation of Concrete Ballast Requirement for Sub-Sea HDPE Pipeline. Infrastructure and Built Environment, 160.
- NOAA. (2014). National Climatic Data Center. Retrieved 2014, from NOAA Satellite and Information Center: <http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/dataproduct>
- Nourpanah, N. (2009). Subsea Pipelines. Nova Scotia: Dalhousie University.
- Pipeline Systems Incorporated. (1997). Basis Design Report Document No. 656-G-002.
- PT Newmont Nusa Tenggara. (2007). Metocean Data Senunu Bay NNT-PJT-STL-Q005-P. Nusa Tenggara Barat: PT Newmont Nusa Tenggara.
- PT Newmont Nusa Tenggara. (n.d.). Lampiran 3.19 : Lokasi Pemantauan Kualitas Air dan Sedimen di Pantai Selatan. Sumbawa: PT Newmont Nusa Tenggara.
- Salim, H. (2011). Diktat Kuliah Mekanika Gelombang Air. Bandung: Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- Salim, Y. (2012). Penggantian Pipa HDPE Dengan Menggunakan Metode Bottom Pull. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Sumer, B. M. (2006). Hydrodynamic Around Cylindrical Structures. Singapore: World Scientific.
- The Plastic Pipe Institute. (2010). Handbook of Polyethylene Pipe. Irving: PPI Publishing.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2002). Coastal Engineering Manual. Washington, D.C.: U.S. Army Corps of Engineers.
- Yaghoobi, M., Mazaheri, S., & Jabbari, E. (2012). Determining Natural Frequency of Free Spanning Offshore Pipelines by Considering the Seabed Soil Characteristics. Journal of the Persian Gulf, 25-34.

