

Kajian Teknis Pengangkatan Pipa Bawah Laut di Alur Pelayaran Selat Madura

Nurillah Anggraini, Yeyes Mulyadi, dan Kriyo Sambodho

Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: yeyesmulyadi@gmail.com

Abstrak— Kodeco Energy Co., Ltd memiliki pipa bawah laut untuk mengalirkan gas hasil pengeboran dari *Poleng Processing Platform* (PPP) ke stasiun pengumpul *Onshore Receiving Facility* (ORF) yang terletak di dasar laut alur pelayaran Selat Madura. Padatnya alur pelayaran di Selat Madura dan akan dilakukannya pengembangan lebar alur dan kedalaman Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya mengharuskan *pipeline* PPP-ORF ini harus diangkat untuk menghindari resiko dan kerusakan pada *pipeline*. Oleh karena itu analisa pengangkatan *pipeline* PPP-ORF KP 35 –KP 36 dan KP 42 – KP 46 menjadi inti pembahasan pada tugas akhir ini. Analisa pengangkatan pipa di alur pelayaran Selat Madura ini menggunakan metode *Reverse Lay* dan *Surface Tow*. Pengangkatan pipa ini menggunakan barge Alpha DMB 88 dengan arah datang gelombang pada saat pengangkatan di Selat Madura adalah 45° , 90° , dan 135° . Pemodelan barge dan analisa *Response Amplitude Operator* (RAO) menggunakan *software Maxsurf*. Sedangkan pemodelan *Reverse Lay* dan *Surface Tow* dilakukan dengan *software Orcflex*. Code yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah DNV RP E305 *On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines* dan DNV RP F109. Panjang pipa yang dimodelkan pada metode *Reverse Lay* adalah 160 meter, sedangkan panjang pipa yang digunakan untuk metode *Surface Tow* adalah 1000 meter. Hasil pemodelan menunjukkan tegangan maksimum yang terjadi pada pipa dengan metode *Reverse Lay* adalah sebesar 305,26 mPa dengan arah datang gelombang 135° . sedangkan tegangan maksimum yang terjadi pada pipa dengan metode *Surface Tow* adalah sebesar 144,53 mPa dengan arah datang gelombang 90° . Pada kedua metode tersebut pipa tidak mengalami *overstress* karena tidak melebihi batas tegangan yang diijinkan yaitu 0,9 SMYS atau sebesar 322,67 mPa. Dari hasil perhitungan tegangan, analisa keselamatan alur pelayaran, kemudahan teknis, dan konsumsi energy, maka metode yang cocok digunakan di alur pelayaran Selat Madura adalah *Reverse Lay*.

Kata Kunci—Pengangkatan Pipa Bawah Laut, Selat Madura, *Reverse Lay*, *Surface Tow*, Perbandingan Metode.

I. PENDAHULUAN

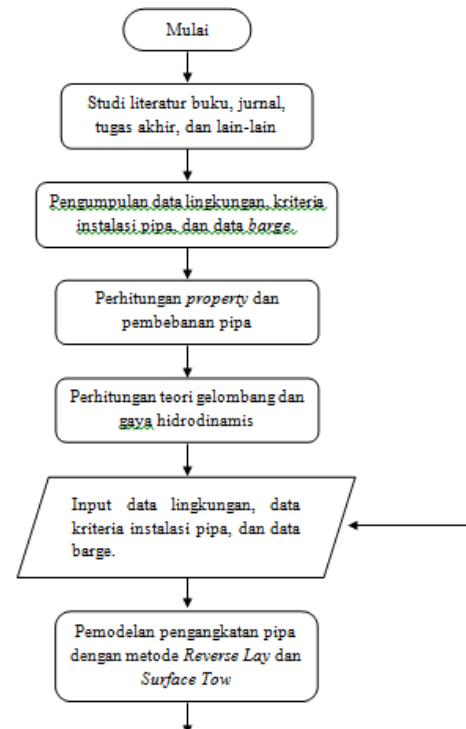
KODECO Energy Co., Ltd. merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pengeboran minyak dan gas. Perusahaan ini memiliki *platform* dengan sumur pengeboran gas yang terletak di laut Utara Jawa yaitu *Poleng Processing Platform* (PPP). Gas hasil pengeboran dari sumur tersebut dialirkan ke stasiun pengumpul yaitu *Onshore Receiving Facility* (ORF) yang terletak di Gresik. *Pipeline* PPP-ORF terletak di alur pelayaran barat Surabaya di Selat Madura. Selat Madura merupakan salah satu alur pelayaran yang tersibuk di Indonesia. Selain itu, saat ini Pelindo III akan melakukan pengembangan pelabuhan Tanjung Perak

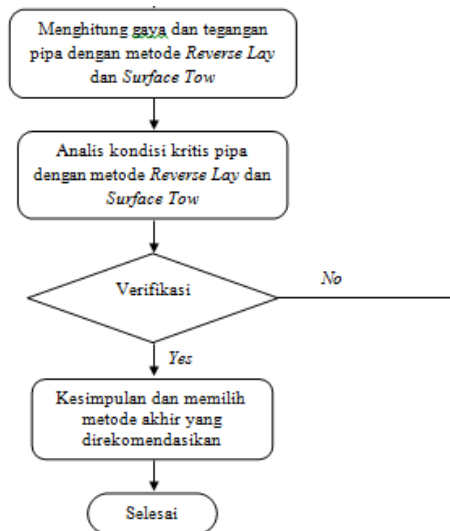
Surabaya. Pengembangan tersebut dilakukan dengan menambah lebar alur menjadi 200 meter dan kedalaman menjadi 14 meter dari titik surut terendah. Sehingga proses *removal pipeline* diperlukan untuk menghindari zona *ship traffic* dan aktivitas pendalaman pelabuhan. *Pipeline* yang menjadi kajian *removal* ini berada pada KP 35- KP 36 dan KP 42- KP 46.

Proses *removal pipeline* dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu pemotongan *pipeline*, pengangkatan *pipeline*, dan pemindahan. Metode yang umum dan banyak digunakan untuk pengangkatan pipa diantaranya adalah *Reserve Laybarge* dan *Surface Tow*. Dalam melakukan pengangkatan *pipeline* tersebut diperlukan kajian teknis untuk memilih metode pengangkatan yang paling tepat mengingat kondisi alur pelayaran Selat Madura yang sangat ramai.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini digambarkan dalam diagram alir seperti pada gambar 3.1 berikut :





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Data Lingkungan	Nilai
Chart Depth	66 ft
Highest Astronomical Tide	6 ft
Storm Tide	0,4 ft
Total Tide	6,4 ft
Still Water Depth	72,4 ft
Height of Significant Wave	8,6 ft
Period of Significant Wave	6,8 sec
Spectral Peak Period	7,7 sec
Crest Elevation of Wave Above SWL	8,9 ft
Crest Elevation of Wave Above Chart Datum	15,3 ft
Crest Elevation of Wave Above Bottom	81,3 ft
Trough Elevation of Wave Above Bottom	65,3 ft
1 Hour Wind	31 Mph
0,5 Hour Wind	33 Mph
1 Minute Wind	40 Mph
Maximum Instantaneous Gust	48 Mph

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini menggunakan data pipeline 16” PPP-ORF KP 35 - KP 36 dan KP 42 - KP 46 milik Kodeco Energy Co., Ltd yang terletak di Alur Pelayaran Selat Madura.

1. Data Pipeline KP 35 – KP 36 dan KP 42 – KP 46

Tabel 1. Data Pipeline KP 35 – KP 36 dan KP 42 – KP 46

Data Pipa	Nilai	Unit
Outside Diameter (OD)	16	inchi
Wall thickness (t)	0,5	inchi
Pipe coating coaltar enamel, thick	0,157	inchi
Concrete coating, thick	1	inchi
Location buried under seabed	3	M
Max. operation pressure	900	Psig
Design Pressure	1350	Psig
Test Pressure	1890	Psig
Water depth	10,8	M
Gravity Acc	9,807	m/s ²
Steel Density	7850	kg/m ³
Design water depth	55,6	M
Cathodic protection	sacrificial anode aluminium alloy (bracelet)	
Class	API 5L X 52 P SL 2	
Matter carrier	Gas	
SMYS	52	Ksi
	358,53	Mpa
Young's Modulus	207000	N/mm ²
Poisson's Ratio	0,3	

2. Data Lingkungan

Tabel 2. Data Lingkungan pada KP 35 – KP 36 dan KP 42 – KP 46

3. Data Barge

Tabel 3. Main Dimension of Alpha DMB 88

Data Vessel	Nilai
Length over all	62 m
Length betw. perp.	60 m
Breadth	11 m
Depth	3 m
Draft	1,99 m
Displacement weight	1344 MT

B. Pembahasan

Analisa pertama yang dilakukan adalah membandingkan metode yang paling tepat digunakan pada pengangkatan pipa yang terletak di arus pelayaran Selat Madura. Setelah mendapatkan metode yang paling tepat, selanjutnya adalah menghitung besar tegangan dan gaya-gaya yang bekerja pada pipa. Langkah terakhir adalah menganalisa kondisi kritis yang terjadi pada pipa akibat proses pengangkatan.

1. Pemilihan Metode Pengangkatan Pipa

a. Konsumsi Energi

Pemindahan pipa menggunakan vessel memerlukan konsumsi energi yang sangat besar, salah satunya adalah energi yang dibutuhkan untuk menjalankan barge. Konsumsi energi untuk pengangkatan pipa 70% lebih besar daripada energi yang dibutuhkan jika dilakukan metode *leaving in place* (pipa ditinggalkan di tempat aslinya).

b. Kemudahan Teknis

Kriteria kemudahan teknis yang dimaksudkan adalah membandingkan bagaimana teknis dari proses pengangkatan masing-masing metode serta peralatan operasi apa saja yang dibutuhkan.

c. Keselamatan Alur Pelayaran

Padatnya kegiatan serta alur pelayaran di Selat Madura menjadi salah satu alasan dimasukkan faktor ini dalam kriteria. Proses pengangkatan yang akan dilakukan sangat diperhatikan agar tidak mengganggu kegiatan dan alur pelayaran yang ada.

2. Perhitungan Properti dan Pembebanan Pipa

Perhitungan kriteria pipa yang dilakukan mengacu pada standar DNV RP E305 *On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines* serta analisa desain dalam standar code

DNV RP F109. Perhitungan berat dan pembebanan papa pipa dilakukan saat fase instalasi yaitu pipa berada dalam kondisi tidak dialiri oleh fluida (kosong). Sedangkan gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa adalah gaya seret (*drag*), gaya inersia, dan gaya angkat (*lift*). Pembebanan yang dialami oleh pipa disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 4.7 Properti dan Pembebanan pada Pipa

Kriteria	Nilai	Unit
Gaya Berat Baja di Udara	1208.661	N/m
Gaya Berat Total Pipa di Udara	2439.786	N/m
Gaya Apung Pipa	1789.398	N/m
Gaya Berat Pipa dalam Air	650.388	N/m
Kecepatan Gelombang Efektif	4.082	m/s
Kecepatan Arus Efektif	0.31	m/s
Gaya <i>Drag</i> Pipa	18231.602	N/m
Gaya Inersia Pipa	0.365	N/m
Gaya <i>Lift</i> Pipa	11394.752	N/m

Sedangkan untuk perhitungan teori gelombang yang dihasilkan dari nilai $H/gT^2 = 0.004$ dan $d/gT^2 = 0.02$ pada grafik *Region of Validity* (Mouselli, 1981) didapatkan teori gelombang Stokes Orde 2 dengan nilai kecepatan gelombang efektif dan kecepatan arus efektif masing-masing adalah 4.082 m/s dan 0.31 m/s.

Kemudian dari hasil perhitungan teori gelombang dan properti pembebanan pipa dapat diketahui nilai gaya hidrodinamis pipa dengan terlebih dahulu menghitung bilangan Reynold untuk mengetahui nilai koefisien *drag*, koefisien inersia, dan koefisien *lift*.

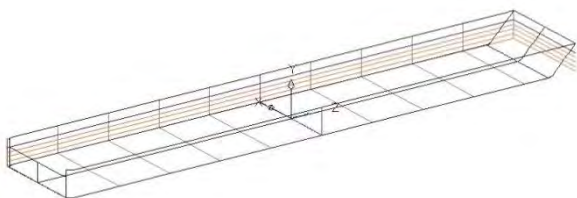
$$Re = \frac{\rho U_e D}{\mu} = 0.244 \times 10^4$$

Berdasarkan rumus Morison dapat diketahui gaya hidrodinamis yang mengenai pipa sebesar $F = F_d + F_i$. Sehingga didapatkan nilai gaya hidrodinamis (F) = 18231.967 N/m.

3. Pemodelan Barge

Pemodelan *barge* untuk metode *Reverse Lay* dan *Tow* menggunakan data *barge* ALPHA DMB 88.

Setelah dilakukan *input* dan Pemodelan kapal dengan *Software Maxsurf*, didapatkan hasil pemodelan kapal seperti gambar 1 berikut :

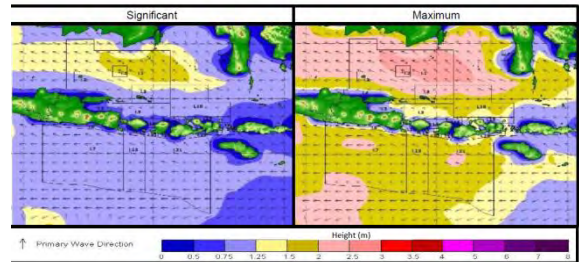


Gambar 1. Hasil Pemodelan Barge Alpha DMB 88 dengan Software Maxsurf

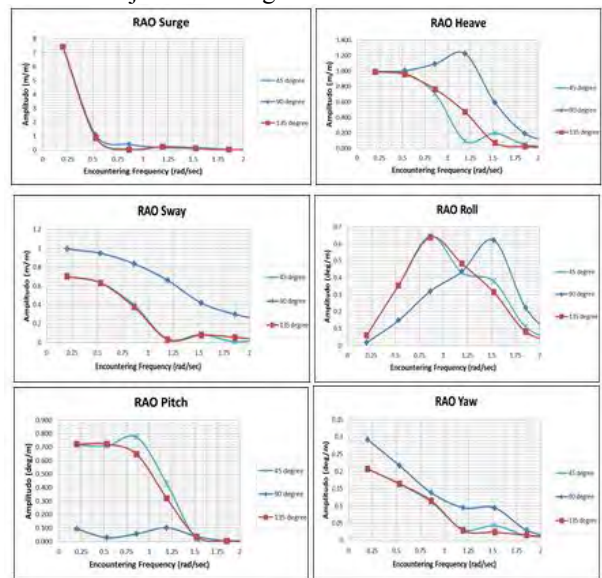
4. Perhitungan Response Amplitude Operator (RAO)

Berdasarkan data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Meteorologi Maritim Perak Surabaya, diketahui bahwa pada bulan Juli 2015, angin dan gelombang di wilayah perairan laut utara Jawa Timur dan Selat Madura berasal dari arah timur dan tenggara. Sehingga pada pemodelan pengangkatan pipa dapat ditentukan arah *heading*

yang digunakan adalah 45°, 90°, dan 135° dengan teori gelombang *Jonswap*. Data arus yang dimasukkan adalah arus yang paling besar, yaitu arus permukaan Selat Madura sebesar 0,77 m/s.



Gambar 2. Arah Angin dan Gelombang di Laut Utara Jawa Timur. Dari perhitungan (*running*) didapatkan nilai *RAO* yang kemudian disajikan dalam grafik:



Gambar 3. Grafik Response Amplitude Operator (RAO) Barge ALPHA DMB 88



Gambar 4. Sketsa Arah Pembebanan Gelombang pada Barge

5. Perhitungan Konfigurasi Mooring Line

Jenis *mooring line* yang digunakan dalam tugas akhir ini menggunakan *chain anchor* berdasarkan *ABS Rules for Testing and Certification of Materials 2010*. Dari analisa hidrodinamis yang telah dilakukan didapatkan besarnya gaya horizontal yang mengenai *barge* sebesar $F_d + F_i$ yaitu 1130.382 kN.

Jumlah *mooring* yang digunakan adalah 4 buah *mooring line* dengan tegangan pada masing-masing *mooring* sebesar 282.595 kN. Dari perhitungan tersebut didapatkan dimensi dan

data mooring yang digunakan untuk barge pada tugas akhir ini yaitu:

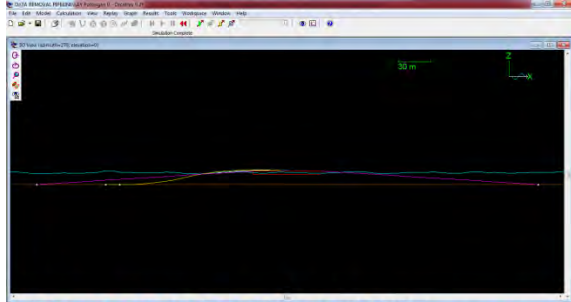
Tabel 4.9 Dimensi Mooring

Chain Diameter	Length of Five Links	Proof Loads	Breaking Load	Mass kilograms per 27.5 meters
mm	mm	kN	kN	kg
28	616	224.6	320.7	480

Selain itu, didapatkan juga panjang minimum mooring line yaitu 197.825 m, jarak anchor hingga menyentuh tanah dan panjang offset sebesar 197.35509 m dan 197.35523 m.

6. Pemodelan Dinamis Reverse Lay

Perhitungan pemotongan pipa didasarkan pada kapasitas tensioner yang ada untuk mengangkat pipa. Dalam tugas akhir ini kapasitas tensioner sebesar 40 Ton sehingga panjang potongan pipeline untuk pemodelan reverse lay adalah 160 m. Setelah ukuran pipeline telah ditetapkan langkah selanjutnya adalah mengangkat pipa dengan menggunakan crane. Crane yang digunakan harus memiliki kapasitas minimal 40 Ton.

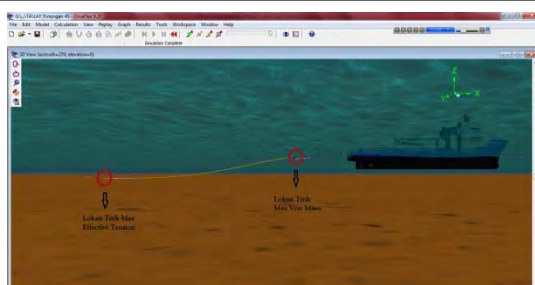


Gambar 5. Pemodelan Reverse Lay Heading 45° Setelah Running

Hasil running pemodelan reverse lay adalah berupa nilai effective tension dan maximum Von Mises Stress. Besarnya tegangan longitudinal tidak boleh melebihi 0.8 SMYS sedangkan tegangan Von Mises tidak boleh melebihi dari 0.9 SMYS. Nilai tegangan terbesar pada tiap heading akan disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 4.10 Output Running Pemodelan Reverse Lay

Heading	Max Effective Tension (kN)	Max Von Mises Stress (kPa)	0.9 SMYS (kPa)	Compression Limit (kN)
Reverse Lay arah 45°	-144.62	306822.3	322677	-9155.485959
Reverse Lay arah 90°	-143.203	297609.2	322677	-9155.485959
Reverse Lay arah 135°	-148.274	305262.1	322677	-9155.485959



Gambar 6. Lokasi Tegangan Maksimum Setelah Running pada Arah 45°, 90°, dan 135°

Dari hasil pemodelan yang disajikan dalam tabel di atas dapat disimpulkan bahwa pemodelan reverse lay cukup aman dan tidak ada tegangan yang melebihi batas kriteria.

7. Pemodelan Dinamis Surface Tow

Panjang pipeline yang digunakan pada pemodelan surface tow adalah 1000 m. Analisa surface tow juga dibagi menjadi 3 proses yaitu proses pemasangan floater, proses pengangkatan pipa ke permukaan, dan proses penarikan pipa menuju ke darat. Pada saat proses pengangkatan dan penarikan dilakukan running untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada pipa.

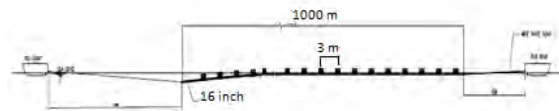
Tabel 4.11 Data Dimensi Floater (Drum)

Parameter	Nilai	Unit
Diameter of Drum (Dd)	0.5842	m
Height of Drum (Hd)	0.889	m
Mass of drum (Md)	15	kg
Density of drum (pd)	7850	kg/m ³
Mass of drum wire per coil (Mwire)	0.3	kg

Dari data di atas dilakukan perhitungan untuk menentukan jumlah floater yang dibutuhkan untuk mengangkat pipa ke permukaan, disajikan dalam tabel berikut:

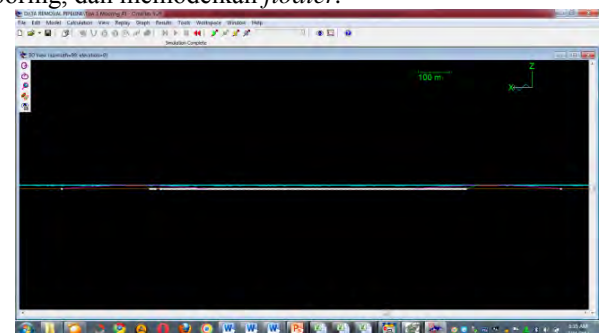
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Konfigurasi Floater

Parameter	Nilai	Unit
Gaya Apung per Pelampung	2394.168	N/m
Berat Total Pipa pada Pelampung	2595.717	N/m
Jumlah Pelampung Total yang dibutuhkan	337	Buah
Jumlah Pelampung per Joint	4	Buah
Jarak per Pelampung	3.0	m



Gambar 7. Sketsa Surface Tow dengan Menggunakan Floater

Langkah selanjutnya adalah melakukan input data barge, data pipa, data lingkungan sesuai dengan data yang telah ada, memasukkan input hasil perhitungan (running) RAO yang telah dilakukan dengan software Maxsurf, memodelkan data mooring, dan memodelkan floater.



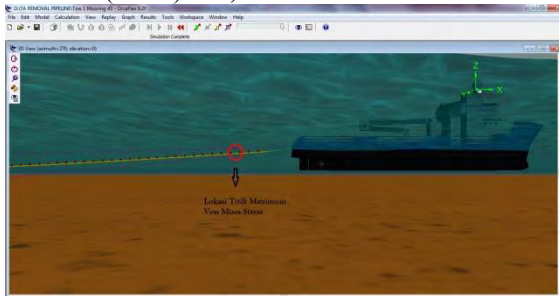
Gambar 8. Pemodelan Tow Heading 45° Setelah Running

Nilai tegangan terbesar pada tiap heading akan disajikan dalam tabel berikut :

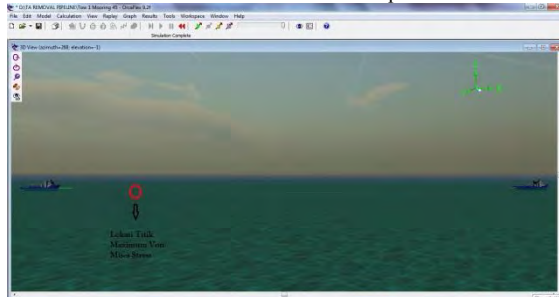
Tabel 4.13 Output Running Pemodelan Surface Tow

Heading	Max Effective Tension (kN)	Max Von Mises Stress (kPa)	0.9 SMYS (kPa)	Compression Limit (kN)
Tow arah 45°	152.0325	55346.77	322677	-175722.722
Tow arah 90°	687.6417	65382.95	322677	-175722.722
Tow arah 135°	310.4081	59781.41	322677	-175722.722

Dari hasil *running* didapatkan *maximum effective tension* yang terjadi pada arah 45° dan 90° berada di titik (meter) 999,99 sedangkan arah 135° berada di titik (meter) 0. Sedangkan *maximum Von Mises Stress* yang terjadi pada arah 45° dan 135° berada di titik (meter) 10,38 sedangkan arah 90° berada di titik (meter) 832,34.



Gambar 9. Lokasi Von Mises Stress Maksimum pada Arah 45° dan 135°



Gambar 10. Lokasi Von Mises Stress Maksimum pada Arah 90°

8. Pemilihan Metode dengan *Selection Criteria*

a. Konsumsi Energi

Proses pengangkatan pipa dengan metode *Reverse Lay* umumnya memerlukan satu buah kapal (*lay barge*) yang berfungsi untuk mengangkat dan membawa pipa ke daratan. Sedangkan metode *Surface Tow* memerlukan dua buah kapal (*tow barge* dan *hold-back barge*). Sehingga dari sisi konsumsi energi, proses pengangkatan dengan metode *Reverse Lay* merupakan metode yang lebih direkomendasikan.

b. Kemudahan Teknis

Pada metode *Reverse Lay* peralatan yang dibutuhkan umumnya mudah didapatkan diantaranya *lay barge*, *crane*, *stinger*, *tensioner*, serta pemotong pipa. Selain itu, proses pengangkatan yang dilakukan juga cukup mudah yaitu dengan memotong pipa sesuai dengan ukuran kemudian ditarik dengan *crane* dan diletakkan pada *stinger* yang terkait dengan *tensioner*. Sedangkan peralatan yang dibutuhkan pada proses pengangkatan dengan metode *Surface Tow* lebih banyak diantaranya *tow barge*, *hold-back barge*, *floaters*, serta rantai sebagai pengikat *floaters* dengan pipa. Selain itu, proses pengangkatan dengan metode ini lebih rumit karena harus memasang *floaters* di sepanjang pipa yang terletak di dasar laut. Setelah itu memastikan saat proses pengangkatan pipa ke permukaan pipa tidak mengalami *buckling* atau tegangan yang

berlebihan. Sehingga dari segi kemudahan teknis, metode yang lebih direkomendasikan adalah *Reverse Lay*.

c. Keselamatan Alur Pelayaran

Pada kriteria keselamatan alur pelayaran diperlukan metode pengangkatan yang tidak memakan waktu yang cukup lama sehingga tidak mengganggu dan memunculkan resiko pelayaran. Pada proses pengangkatan pipa, kedua metode di atas sama-sama memerlukan waktu yang cukup lama. Metode *Reverse Lay* memerlukan waktu yang cukup lama untuk proses pemotongan, pengangkatan, serta penarikan pipa. Sedangkan metode *Surface Tow*, proses pemasangan *floaters* dan menaikkan pipa ke permukaan juga memerlukan waktu yang cukup lama serta lokasi yang luas karena panjang pipa yang diangkat mencapai 1000 meter.

Dari hasil perhitungan pemodelan pengangkatan pipa menggunakan *Software Orcaflex* di atas didapatkan tegangan pada metode *Reverse Lay* dan *Surface Tow* tidak melebihi tegangan yang diijinkan. Sehingga dari perhitungan tegangan dan analisa keselamatan alur pelayaran, kemudahan teknis, dan konsumsi energi didapatkan metode yang cocok digunakan di alur pelayaran Selat Madura adalah metode *Reverse Lay*.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari proses analisa yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai gaya berat dan gaya berat total pipa di udara adalah 1208.661 N/m dan 2439.786 N/m. serta gaya apung pipa dan gaya berat pipa dalam air adalah 1789.398 N/m dan 650.388 N/m. Dan nilai gaya hidrodinamis (F) = 18231.967 N/m.
2. Pada pemodelan *reverse lay* didapatkan hasil tegangan *Von Mises* maksimum yang terjadi sebesar 311358.4 kPa. Sedangkan pada pemodelan *surface tow* tegangan *Von Mises* maksimum yang terjadi sebesar 65382.95 kPa. Kedua nilai tersebut tidak melebihi batas 0.9% SMYS sebesar 322677 kPa.
3. Dari hasil perhitungan tegangan, dan analisa *selection criteria* keselamatan alur pelayaran, kemudahan teknis, dan konsumsi energi maka didapatkan metode yang cocok digunakan di alur pelayaran Selat Madura adalah metode *Reverse Lay*.

B. Saran

Saran yang disampaikan penulis yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan verifikasi hasil tegangan *effective tension* dan tegangan *Von Mises* output dari *software Orcaflex* dengan perhitungan manual.
2. Dapat ditambahkan analisa kajian dari segi ekonomi untuk kegiatan pengangkatan pipa ini.
3. Dapat menambahkan pemodelan dengan *software* lain seperti *Offpipe* dan sebagainya.

- [1] Firdaus, Mochammad. 2014. "Analisa Shore Pull pada GG New Field Development Milik PT Pertamina Hulu Energy Offshore North West Java". Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [2] Irawati, Christina. 2010. "Optimasi Buoyancy Tank pada Proses Above Water Tie In Menggunakan David Lifting". Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [3] Makisang, David. 2007. "Analisa Hidrodinamik Pipa Bawah Laut Selama Instalasi dengan Metode Tow Surface". Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [4] Mousselli, A.H. 1981. "Offshore Pipeline Design, Analysis, and Methods". PenWell Books, Tulsa. Oklahoma.
- [5] Mulyadi, Yeyes, et al. 2014. "Development of Ship Sinking Frequency Model Over Subsea Pipeline for Madura Strait using AIS Data". WMU Journal of Maritim Affairs. Volume 13 PP 43-59.
- [6] Purnama, Ib. 2006. "Analisa Tegangan Pipa Bawah Laut pada Proses Instalasi Akibat Gerakan Lay Barge dengan Metode S Lay". Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [7] Yong, Bai, 2001. "Pipelines and Risers. Elsevier Ocean Engineering Book Series". Netherlands.