

ANALISIS ABOVE WATER TIE-IN PADA PEMINDAHAN JALUR PIPA BAWAH LAUT

Dwini Restu Achnita¹ dan Rildova²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

(¹dwinirestu@gmail.com dan ²rildova@ocean.itb.ac.id)

Abstrak : *Above Water Tie-In (AWTI) merupakan metode penyambungan dua buah segmen pipa di atas permukaan air laut. Proses penyambungan pipa bawah laut atau tie-in biasanya dilakukan karena beberapa alasan, misalnya pada kasus ini ialah karena terjadinya perubahan jalur pipa bawah laut pada pipa yang telah digelar dikarenakan crossing dengan jalur pelayaran kapal yang akan membahayakan jalur pipa.*

Pelaksanaan AWTI terdiri dari tiga tahapan utama yaitu proses pengangkatan pipa ke atas permukaan air (lifting), proses pemotongan dan pengelasan pipa (Cutting and welding), dan proses penurunan pipa ke dasar laut (Lowering). Hal utama yang ditinjau selama proses pelaksanaan AWTI ialah tegangan yang terjadi pada pipa dimana tegangan tersebut tidak boleh melebihi tegangan yang diijinkan agar pipa tidak mengalami kegagalan. Oleh karena itu sebelum pelaksanaan AWTI tentu harus dilakukan proses analisis terlebih dahulu agar selama AWTI dilaksanakan pipa tidak mengalami overstress. Saat ini telah terdapat beberapa perangkat lunak yang dapat melakukan analisis Above Water Tie-In tersebut salah satunya yaitu perangkat lunak OrcaFlex yang dikembangkan oleh Orcina.

Pelaksanaan analisis AWTI dengan perangkat lunak OrcaFlex terdiri dari beberapa langkah yaitu pemodelan, analisis statik dan analisis dinamik. Hasil yang ditinjau selama pelaksanaan analisis AWTI dengan OrcaFlex adalah tegangan Von Mises yang terjadi pada pipa pada setiap tahap pelaksanaan AWTI, dimana nilai tegangan tersebut tidak boleh melewati batas tegangan yang diizinkan. Beberapa hal yang dicari dalam analisis yang dilakukan pada Tugas Akhir ini yaitu konfigurasi pemasangan davit wire, konfigurasi penggunaan air lift bags, serta tahapan penarikan/penurunan davit wire agar pipa tidak mengalami kegagalan selama pelaksanaan above water tie in.

Kata kunci : *above water tie-in, midline tie-In, tie-in, davit lifting, OrcaFlex*

PENDAHULUAN

Pipa bawah laut berfungsi sebagai moda transportasi minyak dan gas bumi dari suatu tempat ke tempat lainnya. Dalam implementasi penggunaan pipa bawah laut, tidak jarang ditemukan suatu masalah yang terjadi diantaranya leak (kebocoran), *free span* (bentang bebas), *buckle*, *re-route* (pemindahan jalur), dan sebagainya. Seperti yang terjadi pada pipa bawah laut di sebelah utara Selat Madura yang mengalirkan gas dari PPP ke *Onshore Receiving Facilities* (ORF) Gresik, pipa tersebut mengalami *crossing* dengan Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) pada KP-27.8 sampai KP-47.4 sehingga harus dilakukan pemindahan jalur pipa. Pada pemindahan jalur tersebut dilakukan penyambungan pipa eksisting dengan pipa baru di KP 27.8 dan KP-47.4 yang dilaksanakan dengan metode *Above Water Tie-In*.

Above Water Tie-In (AWTI) merupakan metode penyambungan dua buah segmen pipa di atas permukaan air laut. Pada pelaksanaan AWTI kedua segmen pipa yang akan disambungkan diangkat keatas permukaan air oleh davit yang terdapat pada barge, setelah itu pipa dipotong dan disambungkan dengan proses pengelasan kemudian setelah pipa tersambung, pipa diturunkan kembali ke dasar laut. Selama pelaksanaan AWTI tegangan yang terjadi pada pipa tidak boleh melewati nilai tegangan yang

dijijinkan. Maka sebelum pelaksanaan AWTI diperlukan proses analisis untuk memperoleh konfigurasi *davit* dan *air lift bags* (ALBs) yang tepat.

Tujuan utama dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengusulkan tahapan penarikan *davit wire* dan konfigurasi *air lift bags* saat proses pengangkatan pipa ke atas permukaan laut (*lifting*) agar tegangan yang terjadi pada pipa memenuhi batas tegangan yang diijinkan kode ASME B31.8.
2. Mengusulkan tahapan penurunan *davit wire* dan konfigurasi *air lift bags* saat proses penurunan pipa ke dasar laut (*lowering*) agar tegangan yang terjadi pada pipa memenuhi batas tegangan yang diijinkan kode ASME B31.8.
3. Mengetahui besar tegangan maksimum yang terjadi pada pipa selama proses pengangkatan pipa ke atas permukaan laut (*lifting*).
4. Mengetahui besar tegangan maksimum yang terjadi pada pipa selama proses penurunan pipa ke dasar laut (*lowering*).

TEORI DAN METODOLOGI

Pelaksanaan AWTI terdiri dari tiga tahapan utama yaitu proses pengangkatan pipa ke atas permukaan air (*lifting*), proses pemotongan dan pengelasan pipa (*cutting and welding*), dan proses penurunan pipa ke dasar laut (*lowering*) . Dalam pelaksanaan Above Water Tie-In terdapat beberapa peralatan yang diperlukan, diantaranya yaitu :

1. *Tie-in vessel*, yaitu kapal atau barge yang digunakan untuk melakukan proses AWTI, dimana kapal ini harus dilengkapi dengan beberapa *davit* untuk melakukan *lifting* dan *welding station* untuk melakukan penyambungan pipa. Contoh *tie-In vessel* ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1 Tie-in vessel

Sumber : http://www.pypq.com/hafar/eng_files/pipelay2.htm

2. *Accommodation vessel*, *Accommodation Vessel* digunakan untuk keperluan sehari-hari selama proses *tie-in*. Kapal ini akan menjadi kapal utama untuk akomodasi pekerja, makanan (*catering*), dan kebutuhan lainnya yang dibutuhkan selama proses *tie-in*. Contoh *tie-In vessel* ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2 Accomodation vessel

Sumber : <http://www.namcheong.com.my/our-business/67-M-Accommodation-Work-Vessel/67-M-Accommodation-Work-Vessel.cfm>

3. *Anchor Handling Tug Boat* (AHTB), berfungsi untuk membantu pemindahan mooring yang terdapat pada *tie-in vessel* untuk menjaga posisi *vessel* atau membantu pergerakan *vessel*. Contoh AHTB ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3 Anchor Handling Tug Boat

Sumber : <http://www.ship-technology.com/projects/pacific-champion-anchor-handling-tug-supply-vessel/>

4. Welding Equipment, digunakan untuk proses penyambungan pipa pada proses AWTI. Peralatan tersebut yaitu meliputi alat pengelasan pipa, peralatan Non Destructive Test (NDT), dan peralatan untuk pemasangan field joint coating.
5. Air Lift Bags (ALBs), berfungsi untuk membantu davit lifting dalam pengangkatan pipa serta meminimalisir tegangan yang terjadi dengan mengurangi efek bending pada pipa. Air lift bags memiliki kapasitas dan ukuran yang bermacam-macam seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Air Lift Bags (ALBs)

Sumber : <http://www.doowin-dooflex.com/Products&Solutions>

Hal utama yang ditinjau selama proses pelaksanaan AWTI ialah tegangan yang terjadi pada pipa dimana tegangan tersebut tidak boleh melebihi tegangan yang diijinkan agar pipa tidak mengalami kegagalan. Tegangan dominan yang terjadi pada pipa bawah laut diantaranya adalah tegangan tangensial dan tegangan longitudinal. Tegangan resultan atau tegangan ekuivalen dari tegangan tangensial dan tegangan longitudinal pada umumnya dihitung dengan teori tegangan von mises. Berikut persamaan dari ketiga tegangan tersebut,

$$\text{Tegangan tangensial} : \sigma_h = \frac{P D}{2 t}$$

$$\text{Tegangan longitudinal} : \sigma_L = \frac{P D}{4 t}$$

$$\text{Tegangan von mises} : \sigma_e = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_L^2 - \sigma_h \cdot \sigma_L}$$

Keterangan :

σ_e = Tegangan ekuivalen Von Mises

σ_h = Tegangan tangensial (hoop)

σ_L = Tegangan longitudinal

P = $P_o - P_i$

D = Diameter pipa

T = ketebalan dinding pipa

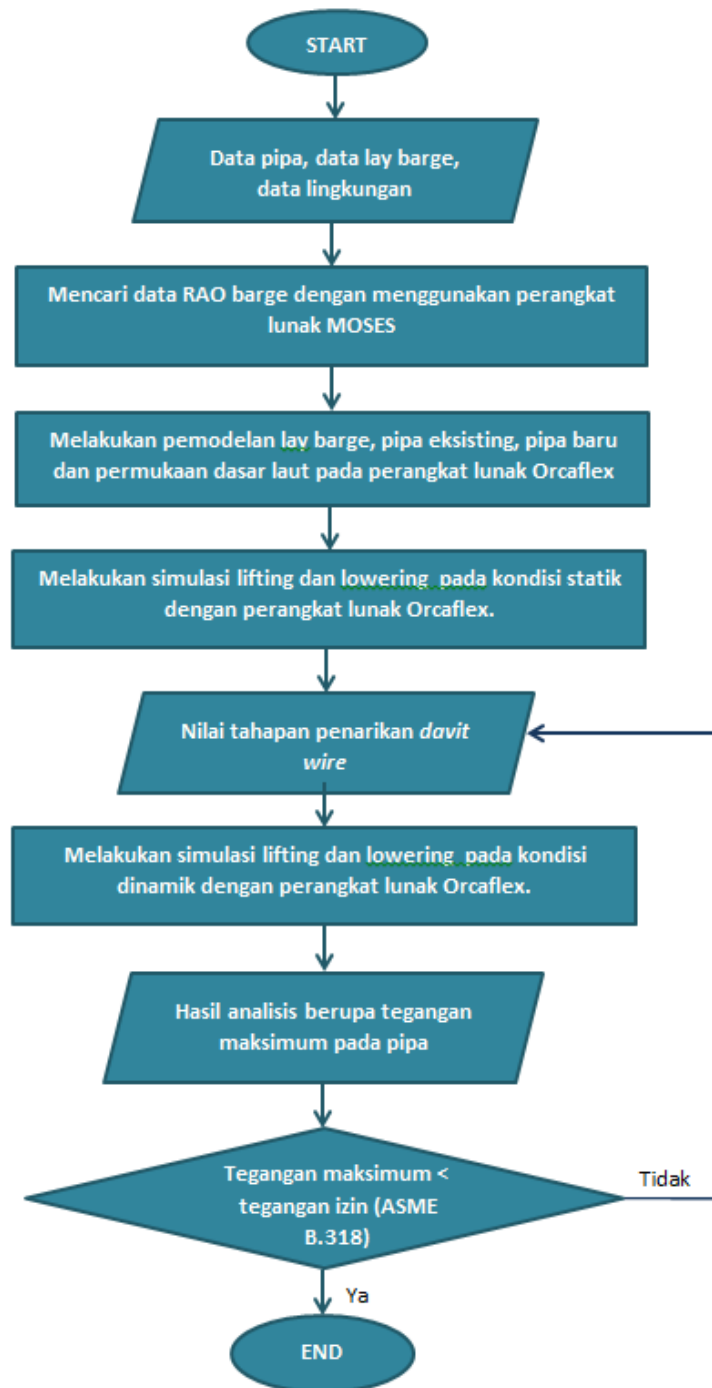
Kriteria tegangan desain untuk analisis instalasi pipa bawah laut termasuk *Above water Tie-In* (AWTI) yang digunakan pada analisis ini ialah berdasarkan kode ASME B31.8 seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 ASME B31.8 Combined Stress Limits for Pipeline Installation

Installation Condition	Combined Stress	ASME B31.8 Allowable Stress (% SMYS)
Static and Dynamic AWTI Analysis	Overbend region	90
	Sagbend region	90

Pada Tugas Akhir ini, analisis AWTI dilakukan dengan perangkat lunak OrcaFlex yang merupakan program yang berbasis *finite element method*. OrcaFlex digunakan untuk melakukan analisis statik dan dinamik dari berbagai macam *marine systems* salah satunya yaitu prosese *davit lifting*. Adapun

metodologi dalam pelaksanaan analisis AWTI dengan OrcaFlex yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Flowchat metodologi pengerjaan

HASIL ANALISIS

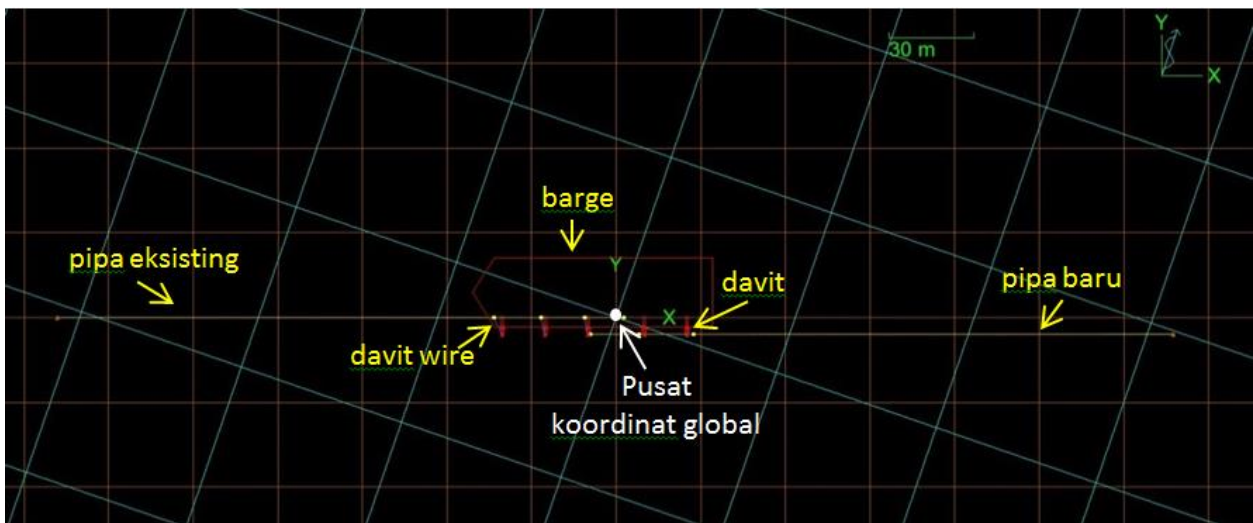
Berikut hasil dari analisis *Above Water Tie-In* yang dilakukan dengan perangkat lunak OrcaFlex.

A. Hasil Pemodelan pada OrcaFlex

Pada analisis *Above Water Tie-In* yang dilakukan pada Tugas Akhir ini beberapa objek yang dimodelkan yaitu kondisi lingkungan, *barge*, *davit*, *davit wire*, *pipeline*, dan *air bags*. Pada pemodelan yang dilakukan, pusat koordinat global berada pada lokasi *tie-in* yaitu $Y=0$ merupakan letak pipa eksisting, $X=0$ merupakan lokasi *tie-in* pada *barge* yang berada diantara *davit* 4 dan *davit* 5 dan $Z=0$ merupakan permukaan air laut. Berikut hasil pemodelan yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6 Hasil pemodelan OrcaFlex (tampak samping)



Gambar 7 Hasil pemodelan OrcaFlex (tampak atas)

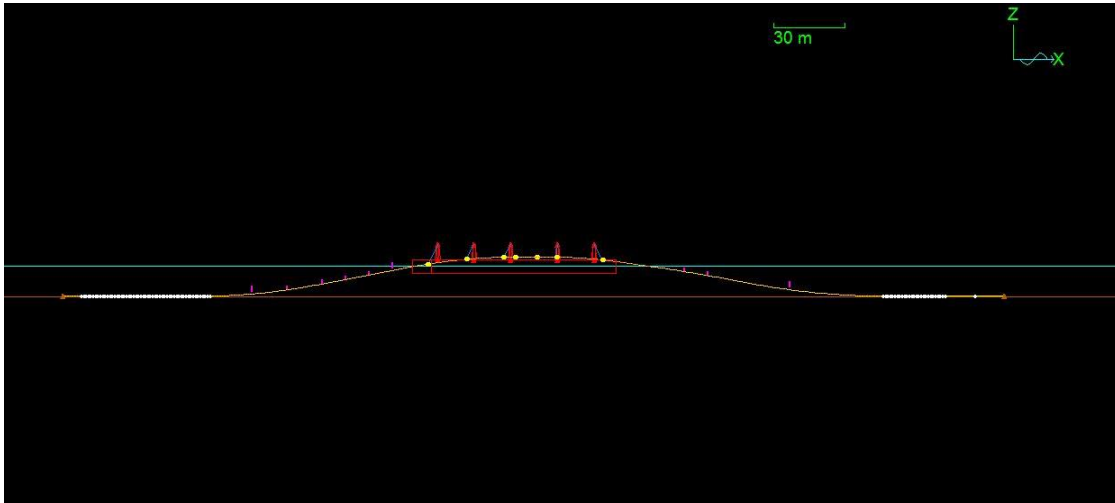
B. Analisis *Lifting and Shifting*

Proses *lifting and shifting* yang disimulasikan pada Tugas Akhir ini terdiri dari dua tahap yaitu proses *lifting* segmen pipa baru yang diiringi dengan pergerakan *barge* (*shifting*) menuju lokasi pipa

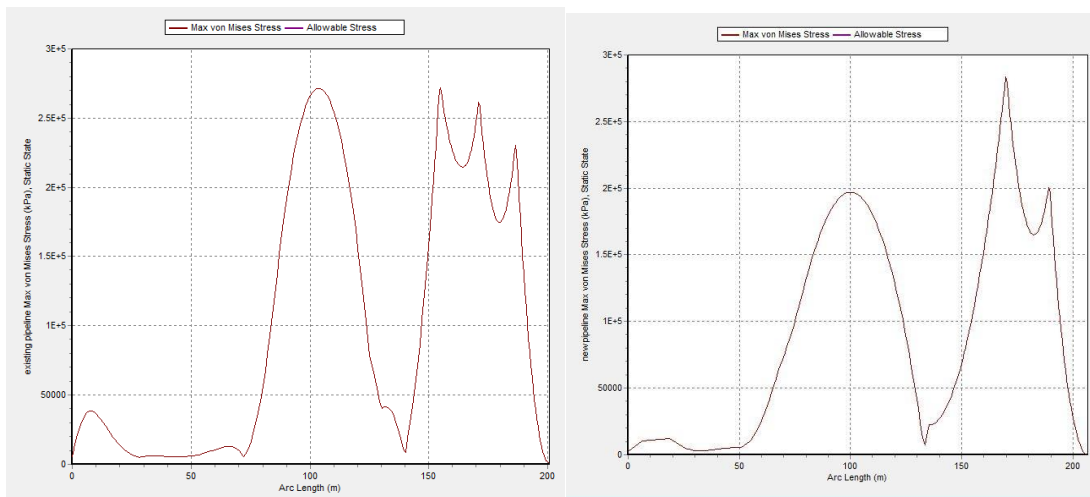
eksisting dan proses *lifting* pipa eksisting. Masing-masing tahap terdiri dari 18 *stage*, sehingga total *stage* pada analisis *lifting and shifting* adalah 36 *stage*.

Pada *stage* 1 - 18 dilakukan pengangkatan pipa baru ke atas permukaan air dan *barge* melakukan pergerakan sejauh 6 m menuju lokasi pipa eksisting. Sedangkan pada *stage* 19 - 36 dilakukan pengangkatan pipa eksisting ke atas permukaan air laut sampai sampai kedua segmen pipa tersebut berada dalam posisi sejajar yaitu pada elevasi sekitar 1.7 m di atas permukaan air..

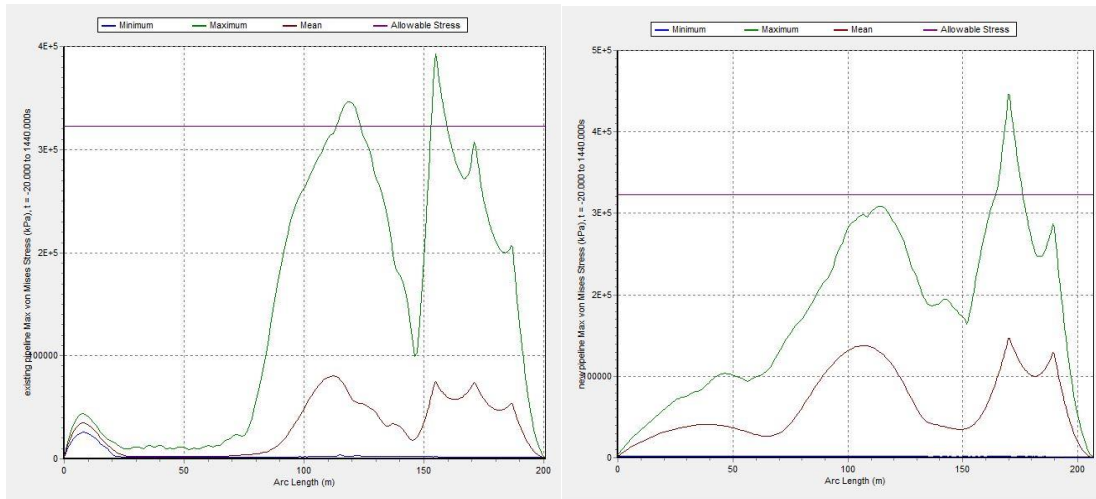
Berikut hasil pemodelan analisis *lifting and shifting* ditunjukkan pada Gambar 8. Kurva dari tegangan yang terjadi pada analisis statik ditunjukkan pada Gambar 9 sedangkan kurva dari tegangan yang terjadi pada analisis dinamik ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 8 hasil pemodelan analisis *lifting and shifting*



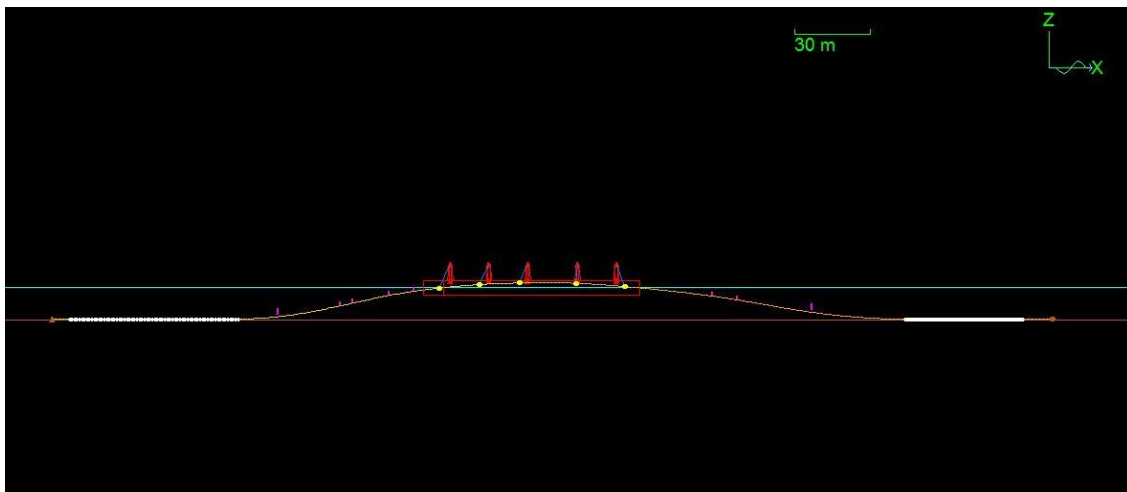
Gambar 9 Static lifting and shifting analysis max von mises stress (left: existing pipeline, right: new pipeline)



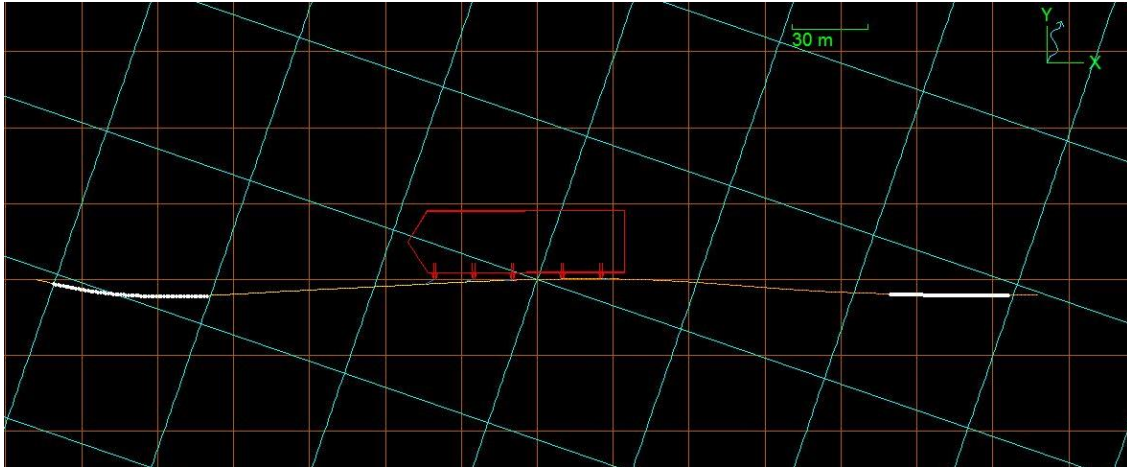
Gambar 10 dynamic lifting and shifting analysis max von mises stress (left: existing pipeline, right: new pipeline)

C. Analisis *Cutting and Welding*

Pada analisis *cutting and welding*, model *pipeline* pada hasil analisis *lifting and shifting* harus diperbarui yaitu segmen *existing pipeline* dan *new pipeline* dimodelkan kembali sebagai satu *pipeline* dengan lokasi *end point*, *choke point* dan *air lift bags* sesuai dengan konfigurasi yang diperoleh sebelumnya. Berikut hasil pemodelan setelah kedua segmen pipa telah disambungkan ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12.

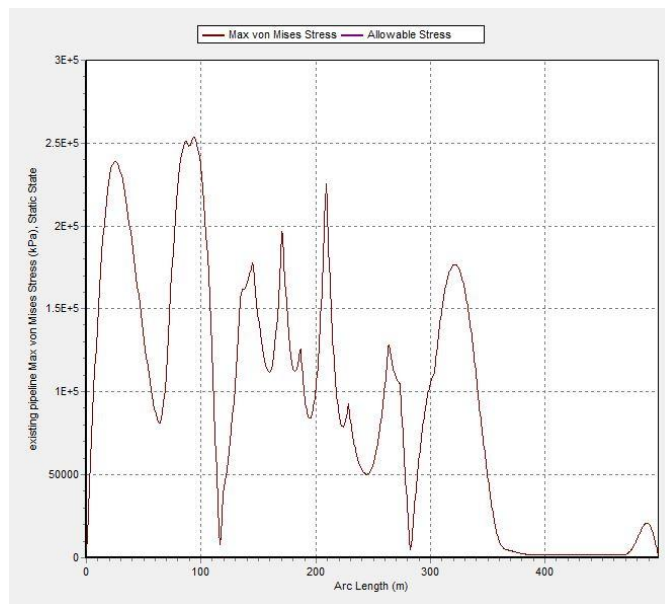


Gambar 11 Tampak samping hasil pemodelan analisis *welding and cutting*

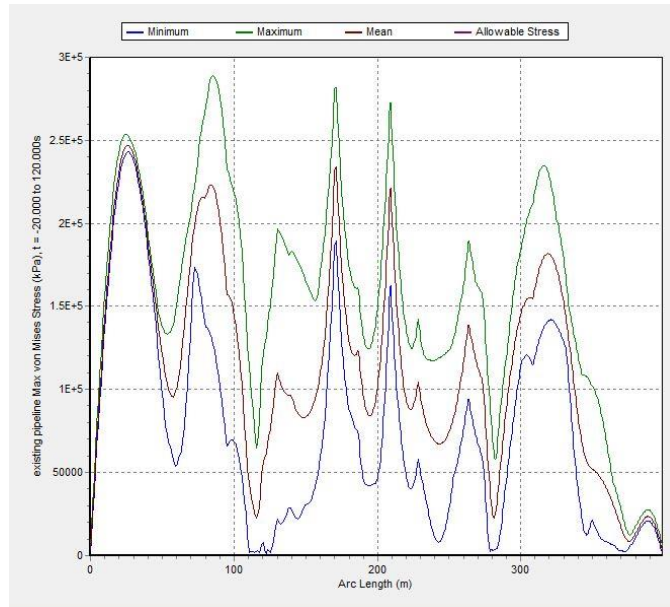


Gambar 12 Tampak atas hasil pemodelan analisis *welding and cutting*

Pada analisis statik *cutting and welding*, tegangan yang ditampilkan merupakan tegangan yang terjadi pada *pipeline* yang telah disambungkan dalam konfigurasi yang diperoleh dari analisis *lifting and shifting* pada kondisi static, sedangkan pada analisis dinamik merupakan nilai tegangan yang terjadi setelah dikenai beban lingkungan pada durasi tertentu. Berikut kurva nilai tegangan yang terjadi pada *pipeline* pada analisis statik ditunjukkan Gambar 13 sedangkan yang terjadi pada *pipeline* pada analisis dinamik ditunjukkan Gambar 14.



Gambar 13 Cutting and welding max von mises stress (static)

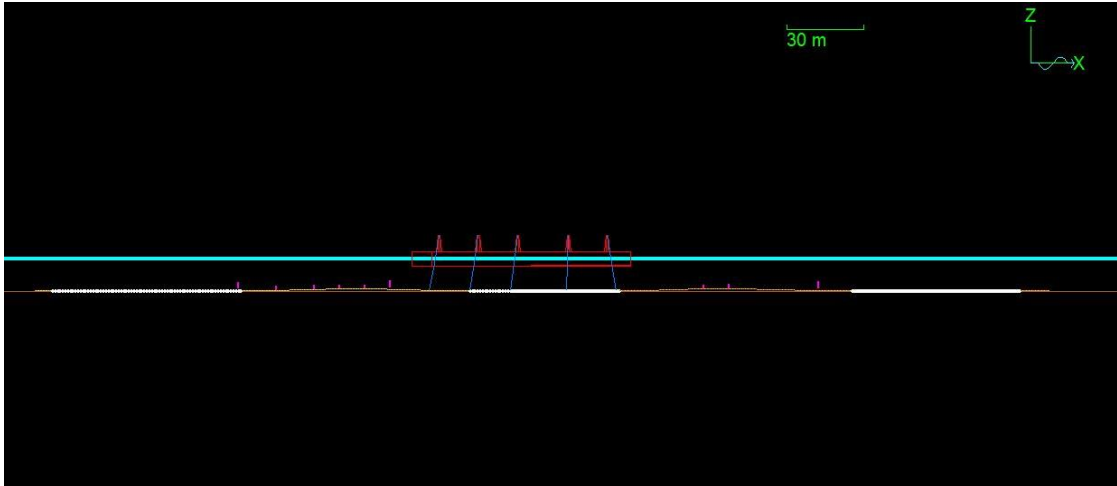


Gambar 14 Cutting and welding max von mises stress (dynamic)

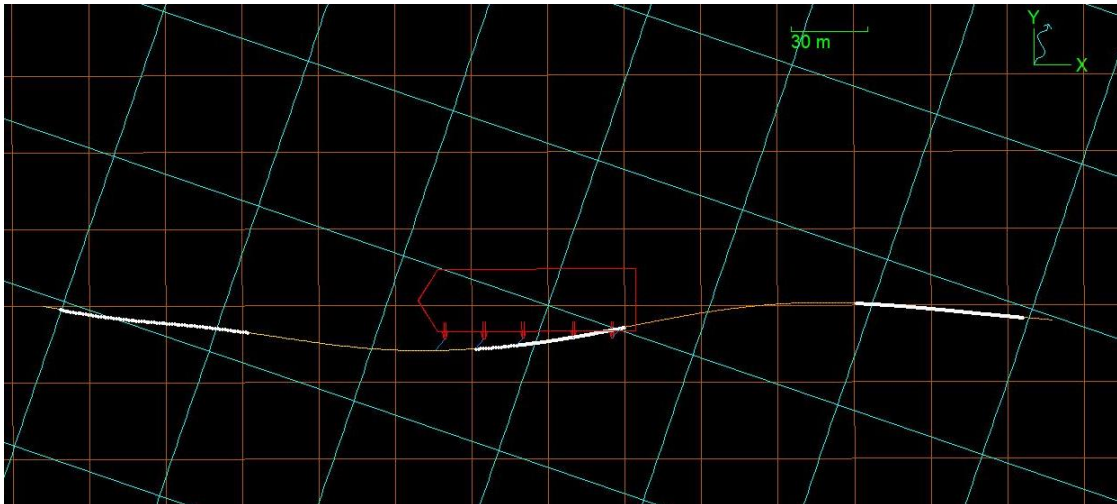
D. Analisis *Lowering and Shifting*

Pada analisis dinamik yang dilakukan pada analisis *lowering and shifting* terdiri dari 20 *stage* dengan durasi setiap *stage* adalah 20 detik. *Trial and error* dilakukan terhadap nilai tahapan penurunan *davit wire* agar selama pelaksanaan *lowering* pipa tidak mengalami *overstress*. Pada pelaksanaan *lowering and shifting*, seluruh *davit wire* menurunkan pipa yang telah disambungkan secara bersamaan dan *barge* melakukan *shifting* ke arah *portside* sejauh sekitar 12.9 m yaitu sejauh besar kedalaman perairan atau total tinggi pengangkatan pipa dari dasar laut. Penurunan pipa dimulai setelah *barge* bergerak sejauh 1.5 m untuk menghindari *overstress* pada daerah *overbend*.

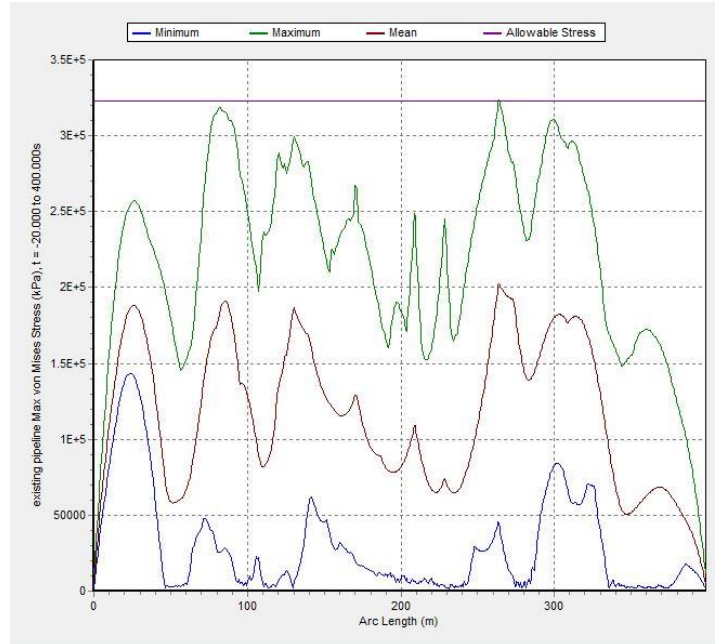
Berikut hasil akhir pemodelan dari analisis *lowering and shifting* ditunjukkan pada Gambar 15 dan Gambar 16, sedangkan nilai tegangan yang terjadi pada *pipeline* selama proses *lowering* ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 15 Tampak samping hasil akhir pemodelan analisis *lowering and shifting*



Gambar 16 Tampak atas hasil akhir pemodelan analisis *lowering and shifting*



Gambar 17 Pipeline max von mises stress (lowering)

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis *Above Water Tie-In* yang dilakukan pada Tugas Akhir ini, diperoleh konfigurasi lokasi *choke point* dan penggunaan *air lift bags* seperti ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Lokasi *choke point*

Nomor <i>davit</i>	Lokasi <i>choke point</i>
1	46.004 m ¹⁾
2	29.504 m ¹⁾
3	14.004 m ¹⁾
4	17.240 m ²⁾
5	36.740 m ²⁾

Catatan: ¹⁾ jarak dihitung dari ujung bebas pipa eksisting

²⁾ jarak dihitung dari ujung bebas pipa baru

Tabel 3 Lokasi Pemasangan *Air Lift Bags*

Existing pipeline		New Pipeline	
Kapasitas <i>Air lift bags</i>	Lokasi pemasangan	Kapasitas <i>Air lift bags</i>	Lokasi pemasangan
1 MT	120.674 m ¹⁾	1 MT	116.74 m ²⁾
2 MT	110.674 m ¹⁾	2 MT	81.74 m ²⁾
2 MT	90.674 m ¹⁾	2 MT	71.74 m ²⁾
2 MT	80.674 m ¹⁾		
2 MT	70.674 m ¹⁾		
1 MT	60.674 m ¹⁾		

Catatan: ¹⁾ jarak dihitung dari ujung bebas pipa eksisting

²⁾ jarak dihitung dari ujung bebas pipa baru

Berikut nilai tahapan penarikan *davit wire* pada saat *lifting and shifting* ditunjukkan pada Tabel 4 sedangkan nilai tahapan penurunan *davit wire* pada saat *lowering and shifting* ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 4 Nilai Tahapan Penarikan *Davit Wire* Pada Setiap Saat *Lifting*

Stage	Davit wire 1 (m)	Davit wire 2 (m)	Davit wire 3 (m)	Stage	Davit wire 4 (m)	Davit wire 5 (m)
19	0.684	0.826	0.875	1	0.920	0.800
20	0.684	0.826	0.875	2	0.920	0.800
21	0.684	0.826	0.875	3	0.920	0.800
22	0.684	0.826	0.875	4	0.920	0.800
23	0.684	0.826	0.875	5	0.920	0.800
24	0.684	0.826	0.875	6	0.920	0.800
25	0.684	0.826	0.875	7	0.920	0.800
26	0.684	0.826	0.875	8	0.920	0.800
27	0.684	0.826	0.875	9	0.920	0.800
28	0.684	0.826	0.875	10	0.920	0.800
29	0.684	0.826	0.875	11	0.920	0.800
30	0.684	0.826	0.875	12	0.920	0.800
31	0.684	0.826	0.875	13	0.920	0.800
32	0.684	0.826	0.875	14	0.920	0.800

33	0.684	0.826	0.875	15	0.920	0.800
34	0.684	0.826	0.875	16	0.920	0.800
35	0.684	0.826	0.875	17	0.920	0.800
36	0.692	0.837	0.883	18	0.928	0.802

Tabel 5 Nilai Tahapan Penurunan *Davit Wire* Pada Setiap Saat *Lowering*

Stage	Davit wire 1 (m)	Davit wire 2 (m)	Davit wire 3 (m)	Davit wire 4 (m)	Davit wire 5 (m)
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
4	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
5	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
6	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
7	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
8	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
9	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
10	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
11	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
12	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
13	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
14	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
15	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
16	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
17	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
18	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
19	0.684	0.826	0.875	0.920	0.800
20	0.692	0.837	0.883	0.928	0.802

Berikut rangkuman dari nilai tegangan von mises maksimum yang terjadi pada pipa selama proses pelaksanaan *Above Water Tie-In* :

1. *Lifting and Shifting Process*

- Kondisi statik

Tegangan maksimum terjadi pada *existing pipeline* sebesar 230916.165 kPa atau 64.4% SMYS terjadi di dekat *choke point* 3 sedangkan pada *new pipeline* sebesar 245580.74 kPa atau 68.5% SMYS terjadi di dekat *choke point* 5.

- Kondisi Dinamik

Tegangan maksimum terjadi pada *existing pipeline* sebesar 309683.2 kPa atau 86.38% SMYS terjadi di *overbend* (dekat *choke point* 1) sedangkan pada *new pipeline* sebesar 299038.51 kPa atau 83.41% SMYS terjadi di *sagbend* (dekat *air lift bags* 1 MT)

2. *Cutting and Welding Process*

- Kondisi statik

Tegangan maksimum terjadi sebesar 253643.4 kPa atau 70.75% SMYS terjadi di bagian *sagbend* segmen *existing pipeline*.

- Kondisi dinamik

Tegangan maksimum terjadi sebesar 289004.15 kPa atau 80.6% SMYS terjadi di bagian *sagbend* segmen *existing pipeline*.

3. *Lowering and Shifting Process*

Tegangan maksimum terjadi pada *existing pipeline* sebesar 322217.3 kPa atau 89.87% SMYS terjadi di bagian *overbend* segmen *new pipeline*.

Saran :

1. Dalam melakukan pemodelan AWTI dengan OrcaFlex harus memahami dengan baik mengenai sistem koordinat dari setiap objek dalam pemodelan yang dibuat, hal ini dapat memudahkan dalam melakukan pemodelan dan menginput data posisi setiap objek.
2. Saat melakukan *trial and error* kondisi statik pada analisis *lifting and shifting* usahakan tegangan maksimum yang terjadi pada bagian *overbend* dan *sagbend* relatif seimbang seperti contoh hasil kurva tegangan yang ditunjukkan pada Gambar 6.1, hal ini akan memudahkan *trial and error* pada tahap analisis dinamik yang akan dilakukan berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

American Society of Mechanical Engineers (2010), “**B31.8 Gas Transmission and distribution Piping Systems**”, U.S.A : the American Society of Mechanical Engineers.

Det Norske Veritas (2007), “**DNV-OS-F101 Submarine Pipeline System**”, Norway: Det Norske Veritas.

Jaeyoung Lee, P.E (2007), “**Introduction to Offshore Pipelines and Risers**”

Boyun Guo, Jacob Chacko, Ali Ghalambor, Shanhong Song (2005), “**Offshore Pipeline**”, U.S.A: Elsevier