

ANALISIS TEGANGAN TERHADAP RISIKO TERJADINYA BUCKLING PADA PROSES PENGGELARAN PIPA BAWAH LAUT

Andhika Haris Nugroho, Dwi Priyanta, Irfan Syarif Arif
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: priyanta@its.ac.id; irfansya@its.ac.id

Abstrak— Dalam proses penggelaran pipa bawah laut, banyak sekali resiko yang dapat mengakibatkan struktur pipa gagal, yang dapat mengakibatkan kerugian waktu, material dan lain sebagainya yang berujung pada kerugian berbentuk materi. Karena berbeda dengan instalasi pipa di darat, penggelaran pipa bawah laut mendapatkan banyak pengaruh dalam proses instalasinya, mulai dari tekanan dalam laut yang harus di perhitungan besarnya, kecepatan arus, besarnya gelombang, dan tentunya faktor kedalaman dasar laut yang bervariasi. Tugas akhir ini dilakukan untuk mengestimasi minimum bending stress yang terjadi pada daerah kritis agar sesuai dengan kriteria desain guna menghindari kegagalan pada proses instalasi dalam hal ini terjadinya buckling pada beberapa segmen pipa. Metode instalasi yang diamati ialah metode S-Lay. Dari hasil analisis dapat disimpulkan instalasi pipa tidak mengalami overstress maupun risiko local buckling serta propagation buckling di daerah manapun, ini dikarenakan nilai tegangan yang terjadi pada area sagbend dan overbend masih memenuhi kriteria, yakni masih kurang dari 87% SMYS pipa untuk standart DNV OS F101 “Submarine Pipeline System” dan masih kurang dari 85% SMYS pipa untuk standart DNV 1981. Serta telah dilakukan validasi menggunakan software berbasis *finite element* untuk menampilkan pergerakan pipa serta persebaran tegangannya, dan hasilnya pipa dapat dikatakan aman.

Kata Kunci— Laying, Stress, Local Buckling, Propagation Buckling.

I. PENDAHULUAN

DALAM proses penggelaran pipa bawah laut, banyak sekali resiko yang dapat mengakibatkan struktur pipa gagal, yang dapat mengakibatkan kerugian waktu, material dan lain sebagainya yang berujung pada kerugian berbentuk materi. Karena berbeda dengan instalasi pipa di darat, penggelaran pipa bawah laut mendapatkan banyak pengaruh dalam proses instalasinya, mulai dari tekanan dalam laut yang harus di perhitungan besarnya, kecepatan arus, besarnya gelombang, dan tentunya faktor kedalaman dasar laut yang bervariasi.

Kedalaman laut yang bervariasi menjadi salah satu faktor awal pemilihan jenis metode yang akan digunakan dalam

melakukan penggelaran pipa. Maka dari itu diperlukanlah analisa terhadap segala kemungkinan gagalnya pipa terutama pada proses penggelarannya.

Tugas akhir ini dilakukan untuk mengestimasi minimum *bending stress* yang terjadi pada daerah kritis agar sesuai dengan kriteria desain guna menghindari kegagalan pada proses instalasi dalam hal ini terjadinya *buckling* pada beberapa segmen pipa. Untuk itu diperlukan analisa tegangan yang terjadi pada *pipeline* saat proses instalasi yang dilakukan dengan perhitungan berdasarkan standart dan juga menggunakan simulasi *software*.

Metode instalasi yang diamati ialah metode S-Lay. Penggunaan metode instalasi ini dipilih, karena tingkat variasi kedalaman pipa yang masih dibawah 300 meter, sehingga dipilihlah metode tersebut sebagai metode yang paling tepat untuk studi kasus tersebut. Pada daerah *sagbend*, gerakan *surge* dan *heave* mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap tegangan bending pada *pipeline* (Brewer dan Dixon, 1969). Dalam melakukan analisa tegangan pipa tersebut dilakukan dengan bantuan *software* yaitu Offpipe dan *software Solid Work*, dan hasil yang didapatkan adalah variasi tegangan pipa yang pada kedalaman tertentu.

Hasil dari simulasi menggunakan *software berbasis finite element* ini nantinya akan divalidasi menggunakan metode pendekatan elemen hingga atau *finite element method* (FEM). Metode ini berusaha memecahkan partial differential equations dan persamaan integrasi lainnya yang dihasilkan dari hasil diskritisasi benda kontinum.

Meski berupapendekatan, metode ini dikenal cukup ampuh memecahkan struktur-struktur yang kompleks dalam analisis mekanika benda padat (solid mechanics) dan juga perpindahan panas (heat transfer). Analisa perhitungan buckling pun akan dilakukan sesuai standart yang ada, dalam hal ini standart yang akan dipakai adalah standart DnV 1981 dan juga DnV OS F101 ‘Submarine Pipeline System’

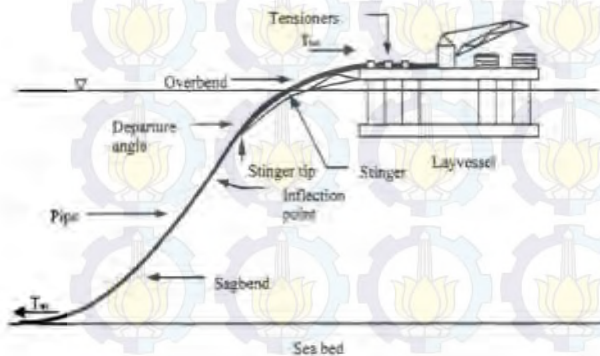
II. TINJAUAN PUSTAKA

Proses pendistribusian gas melalui pipa harus melalui standart dan prosedur yang berlaku demi menjaga sistem

distribusi tetap dalam kondisi aman dan tidak menimbulkan bahaya entah itu dampak langsung terhadap manusia ataupun terhadap lingkungan hidup. Banyak hal yang diperhitungkan sebelum melakukan distribusi gas menggunakan pipa, semisal kekuatan desain pressure pipa, *stress analysis* saat penggelaran pipa, stabilitas pipa dalam dasar tanah, dan juga faktor korosi yang ada pada pipa. Beberapa contoh standart yang digunakan untuk *assessment* jalur pipa semisal DNV, ASME, NACE, API, dan berbagai contoh lainnya.

Kedalaman laut pun beragam berdasarkan kedalaman, seperti misalnya laut dangkal berkisar diantara kedalaman 0 sampai 500 meter. Laut sedang memiliki kedalaman laut berkisar 500 sampai 1 kilometer. Sedangkan laut dalam memiliki kedalaman lebih dari 1000 meter. Pemilihan teknologi instalasi pipa sangat bergantung pada factor factor tersebut, selain itu pemilihan teknologi yang tepat akan sangat berpengaruh pada ketepatan waktu instalasi dan juga biaya instalasi optimal.

Dalam proses instalasinya sendiri, banyak metode yang dapat digunakan saat melakukan instalasi pipa bawah laut, seperti *metode S-Lay, J-Lay, Reel Lay, Tow or Pull*. Untuk pemilihan metode instalasi juga tidak sembarangan, banyak pertimbangan yang harus dilakukan. Misalnya dari tingkat kedalaman pipa, ataupun jenis pipa itu sendiri. Misal untuk kedalaman laut kurang dari 300 m metode instalasi yang paling tepat untuk digunakan adalah metode S-Lay. Sedangkan untuk instalasi pipa pada daerah laut sangat dalam lebih tepat menggunakan metode J-Lay.



Source : (Hvidsten, 2009)

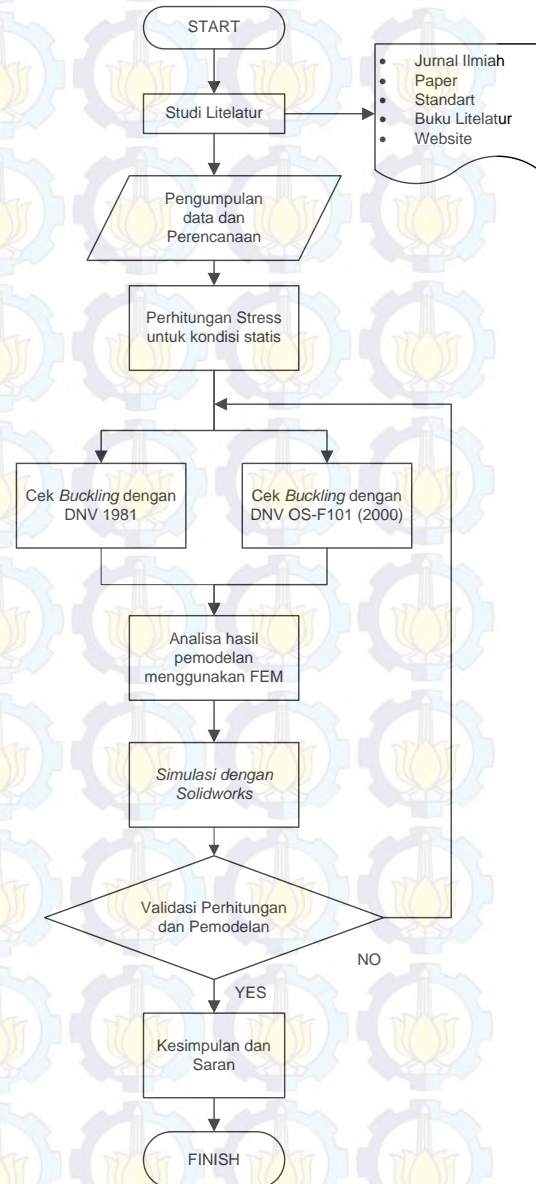
Gambar 1. Metode Instalasi Pipa S-Lay

Analisis instalasi yang akan dibahas dan digunakan dalam laporan Tugas Akhir ini adalah instalasi dengan menggunakan metode S-Lay. Pemilihan metode jenis ini didasarkan pada kondisi perairan pada studi kasus yang ditinjau berupa perairan dengan kedalaman air dangkal hingga sedang sehingga metode S-Lay dianggap sebagai metode instalasi yang paling tepat.

Pada instalasi pipa dengan menggunakan metode S-Lay, analisis yang harus dilakukan adalah analisis mengenai *bending* yang terjadi pada pipa. *Bending* ini terjadi akibat pengaruh dari gaya-gaya aksial yang bekerja pada pipa pada saat pipa tersebut diluncurkan ke laut. Pada metode S-lay ini, terdapat dua buah *bending* yang terjadi, yaitu *bending* yang terjadi di daerah *lift-off point* akibat penggunaan *stinger* dan *bending* yang terjadi di daerah *touchdown point* yaitu titik pertemuan antara pipa dengan dasar laut.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dipakai pada skripsi ini adalah meliputi semua kegiatan yang dilakukan untuk memecahkan dan melakukan proses analisa setiap masalah pada skripsi.



Gambar 2. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir Secara Umum

A. Pemodelan Instalasi Pipa dengan OFFPIPE

Analisa Instalasi S-Lay dilakukan dengan menggunakan analisa statis. Daerah *overbend* saat pipa masih berada di atas *laybarge* sampai *stinger* (kecuali titik *roller* terakhir pada *stinger*), sedangkan daerah *sagbend* mulai titik *roller* terakhir pada *stinger* hingga pipa menyentuh titik *touchdown* pada *seabed*. Berdasarkan permodelan sistem instalasi yang telah dilakukan seperti memodelkan *laybarge, stinger,* dan *properties* pipa serta memasukkan data lingkungan seperti kedalaman laut. Permodelan menggunakan *software OFFPIPE* yang kemudian akan dicari tegangan yang terjadi pada pipa selama proses *laying*.

Hasil dari *running OFFPIPE* kemudian akan dianalisa menggunakan metode elemen hingga dan hasil dari langkah ini akan divalidasikan dengan *standar code* DNV 1981 dan DNV OS-F101.

B. Analisa Local Buckling dengan DNV 1981

Kemungkinan terjadinya buckling pada suatu struktur *pipeline* harus dipertimbangkan untuk menghindari kegagalan pada pipa. Sesuai standart dari DNV 1981, jika nilai UC melebihi 1 maka pipa tersebut dapat terjadi *local buckling*, namun jika nilainya tidak lebih dari 1 maka bisa dikatakan aman dari terjadinya *local buckling*.

$$UC = \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_{xcr} \cdot \eta_{xp}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{ycr} \cdot \eta_{yp}} \right)^2 \quad (1)$$

σ_x = Total axial stress

σ_y = Hoop stress

σ_{xcr} = Critical longitudinal stress

σ_{ycr} = Critical hoop stress

η_{xp} = Permissible buckling usage factor

η_{yp} = Permissible buckling usage factor

Sesuai standart dari DNV 1981, jika nilai UC melebihi 1 maka pipa tersebut dapat terjadi *local buckling*, namun jika nilainya tidak lebih dari 1 maka bisa dikatakan aman dari terjadinya *local buckling*. *Local buckling* dipengaruhi oleh *external pressure*, *axial force*, dan *bending moment* yang kemudian dapat dicari dengan pengecekan UC (*Utility Check*) pada daerah *sagbend* maupun *overbend*. *Local buckling* merupakan kombinasi kritis dari longitudinal dan hoop stress.

Menurut standart DNV 1981, syarat untuk *propagation buckling* adalah $P_e < P_{pr}$ dimana P_e merupakan tekanan dari luar minimal yang dihitung melalui.

$$P_{pr} = 1.15 \cdot \pi \cdot SMYS \left(\frac{t}{D} \right) \quad (2)$$

Dari hasil pengecekan diketahui bahwa saat instalasi tidak membutuhkan penggunaan *buckle arrestor* jika nilai $P_e < P_{pr}$.

C. Analisa Local Buckling dengan DNV OS - F101

Dari hasil OFFPIPE nilai *maximum bending moment* dan *maximum axial force* digunakan untuk menghitung nilai tegangan pada saat instalasi apakah masih memenuhi syarat atau tidak agar tidak terjadi *buckling*.

Pipa akan mengalami *over pressure* saat tekanan eksternal maksimum yang terjadi pada luar pipa melebihi tekanan internal pipa. Sesuai standart DNV OS-F101 seperti berikut ini.

$$\left\{ \gamma_{SCYm} \left(\frac{M_d}{\alpha_c M_{pt_2}} \right) + \left(\frac{\gamma_{SCYm} S_d}{\alpha_c S_{pt_2}} \right)^2 \right\}^2 + \left\{ \gamma_{SCYm} \frac{P_e - P_{mi_n}}{P_c t_2} \right\}^2 \leq 1 \quad (3)$$

M_d = Momen Bending Desain

S_d = Gaya aksial efektif Desain

P_d = Selisih tekanan Eksternal dan Intern

M_p = Tahanan Momen Plastis

S_p = Tahanan Aksial Plastis

P_b = Tahanan bursting

α_c = Parameter strain hardening (Maksimum Sebesar 1,2)

m = Material Resistance Factor (1,15)

γ_{sc} = Safety class Resistance Factor

f_y = Batas leleh Baja

D = Diameter Luar

t_2 = Nominal Wall thickness

Sesuai perhitungan, jika nilainya melebihi angka standart, maka disarankan untuk pemberian *buckle arrestor* untuk mencegah terjadinya *local buckling*.

Perhitungan *propagation buckling* dihitung dengan cara:

$$P_{pr} = 35 f_y \cdot \alpha_{fab} \left(\frac{t_2}{D} \right)^{2.5} \quad (4)$$

Sedangkan untuk menghitung tekanan eksternal minimum dihitung dengan rumus :

$$P_e = \rho_{sw} \cdot g \cdot WD \quad (5)$$

Syarat untuk tidak terjadinya *propagation buckling* adalah :

$$P_e \leq \left(\frac{P_{pr}}{\gamma_{mYSC}} \right) \quad (6)$$

Tekanan internal tidak boleh lebih kecil dari tekanan eksternal, jika tekanan eksternal melebihi tekanan internal makan tegangan pada pipa tersebut tidak aman dan harus dipasang *buckling arrestor*.

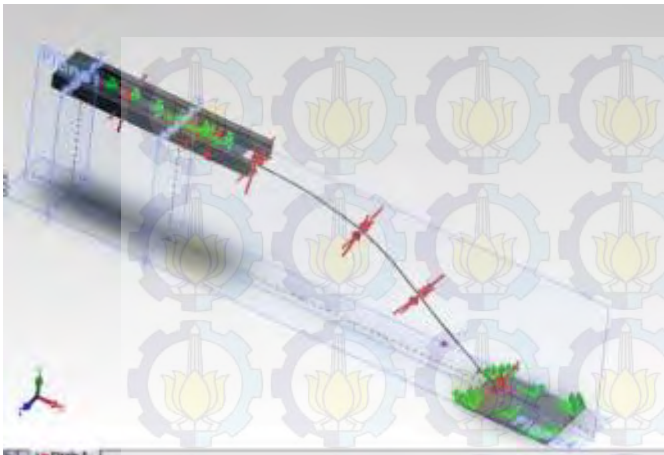
D. Pemodelan dan Analisa Buckling dengan Solid Work

Langkah awal dari pemodelan dengan SOLIDWORKS adalah penggambaran model, seperti contoh di atas. Pemodelan dilakukan pada pipa yang akan di analisa, *laybarge*, *pipe laying support* seperti roller dan tensioner. Setelah penggambaran selesai, langkah selanjutnya adalah penentuan jenis material desain sesuai dengan model yang kita analisa.

Sebelum selanjutnya melakukan simulasi, yang perlu dilakukan adalah pemberian jenis pembebanan, pendeskripsian *pipe laying support* dan pengaruhnya terhadap pipa serta detail kedalaman laut yang akan dianalisa.

Sesuai data yang diperoleh, saat pipa masih diatas *barge*, pipa akan didukung dengan beberapa roller, dan dua tensioner yang berfungsi untuk menjaga tegangan pada pipa selain itu juga menjaga kondisi pipa agar tetap stabil saat gerakan kapal aibat gaya yang diterima dari luar terjadi. Sedangkan pada sisi pipa akan menyentuh tanah, gaya diberikan sebesar tekanan dalam permukaan air laut.

Selain itu diperlukan penggambaran plat di dasar ujung pipa yang dideskripsikan sebagai area dimana pipa itu mendarat, sehingga saat simulasi pipa tidak dianggap menggantung bebas.



Gambar 3 Pemberian tegangan pada simulasi

IV. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Utama

Data dimensi utama pipa yang akan di instal dalam analisa tugas akhir ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1.
Data Desain Pipa

Input data	Symbol	Unit	Operation	Hydrotest
Pipe Outside Diameter	D	mm	323.9	323.9
Selected Wall Thickness	t_n	mm	9.5	9.5
Specific Minimum Yield Strength	SMYS	Mpa	448	448
Steel Young's Modulus	E	Mpa	200000	200000
Design Pressure	P_i	Mpa	10	15
Content Density	ρ_{con}	kg/m ³	71.9	1025
Corrosion Allowance	CA	mm	3	0
Trench Dept	t_d	m	2	2
Density of Sea Water	ρ_w	kg/m ³	1025	1025
Hoop Stress Design Factor	F_i	-	0.3	0.6
Longitudinal Joint Factor	f_e	-	1	1
Temperature Derating Factor	T	-	1	1
Poisson's Ratio	ν	-	0.3	0.3
Gravitational Acceleration	g	m/s ²	9.81	9.81
Soil Specific Gravity	γ	-	2.8	2.8
Output Data	Symbol	Unit	Operation	Hydrotest
Inner Diameter	ID	mm	303.3	303.3
Minimum External Pressure	$P_{ex\ min}$	MPa	0	0
Net. Max. Internal Pressure	P_d	MPa	10	15.2
Minimum Wall Thickness for Internal Pressure	$t_{min\ i}$	mm	15.47	9.36
Summary				
Outer Diameter	D	mm	335.1	335.1
Recommended Wall Thickness	t_n	mm	15.9	15.9

Source: (PC Ketapang II LTD, 2008)

Sedangkan data *laybarge* yang digunakan dalam proses instalasi pipa diatas adalah sebagai berikut.

Tabel 2.
Data Desain Laybarge

Barge Parameters	
Name of Barge	Timas DLB 01
Length Overall	121.9
Beam	32.3
Depth	8.7
Draft	5.5
Freeboard	3.2

Source: (Timas, 2013)

Dari data-data yang telah tersedia di atas kemudian dilakukan Permodelan instalasi pipa dengan software *OFFPIPE* diawali dengan memasukkan data properti pipa yang kemudian dilanjutkan dengan memasukkan data permodelan *laybarge* dan stinger. Pada tugas akhir ini dilakukan variasi data lingkungan yaitu kedalaman sebesar 20, 40, 60 meter dan ketebalan pipa dengan diameter 9.5 mm serta 10.3 mm.

B. Analisa Instalasi Pipa dengan Offpipe

Untuk mencari *axial tension* dan *bending moment* yang nantinya digunakan untuk perhitungan tegangan berdasarkan standar pada daerah tersebut digunakanlah *software* offpipe yang sangat sesuai untuk simulasi instalasi pipa. Data data yang diperlukan selain data utama berupa dimensi pipa seperti, diameter, ketebalan, jenis material dll juga diperlukan data pendukung lain seperti data *laybarge* yang digunakan untuk instalasi pipa.

Berikut nilai distribusi tegangan pada pipa selama proses instalasi.

Tabel 3.

Nilai tegangan hasil simulasi OFFPIPE

Segmen	Water Depth	Axial Tension		Bending Moment	
		Sagbend	Overbend	Sagbend	Overbend
1	20	694.29	694.29	53447	5341
2	40	694.63	694.03	5326	5172
3	60	693.15	693.90	5310	4821

C. Cek Risiko Buckling DNV 1981

Sesuai standart dari DNV 1981, jika nilai UC melebihi 1 maka pipa tersebut dapat terjadi *local buckling*, namun jika nilainya tidak lebih dari 1 maka bisa dikatakan aman dari terjadinya *local buckling*. Tabel dibawah ini menunjukkan hasil dari cek *buckling* menggunakan standart DNV 1981 yang membatasi tegangan maksimal sebesar 85% dari SMYS.

Tabel 4.
Hasil Perhitungan *Local Buckling*

Segmen	Local Buckling	
	Overbend	Sagbend
1	0.2344	0.234797
2	0.25829	0.258608
3	0.281694	0.282866
3b	0.248328	0.280477

Aman atau tidaknya tegangan yang timbul pada pipa dapat dilihat dari hasil UC. Jika nilai UC dari perhitungan tidak lebih dari 1 maka pipa dapat dikatakan aman, namun jika nilai dari cek UC melebihi angka 1 maka pipa tersebut dapat dikategorikan dalam kondisi tidak aman atau melebihi standart.

Menurut standart DNV 1981, syarat untuk *propagation buckling* adalah $P_e < P_{pr}$ dimana P_e merupakan tekanan dari luar minimal yang dihitung melalui

$$P_{pr} = 1.15 \cdot \pi \cdot SMYS \left(\frac{t}{D \cdot t} \right) \quad (7)$$

$$P_{pr} = 4.994 \text{ MPa}$$

$$P_e = r_{sw} \cdot g \cdot W \cdot D$$

$$P_e = 0.201105 \text{ MPa}$$

Dari hasil pengecekan diketahui bahwa saat instalasi tidak membutuhkan penggunaan *buckle arrestor* karena nilai $P_e < P_{pr}$.

D. Analisa Local Buckling dengan DNV OS-F101

Dari hasil OFFPIPE nilai *maximum bending moment* dan *maximum axial force* digunakan untuk menghitung nilai tegangan pada saat instalasi apakah masih memenuhi syarat atau tidak agar tidak terjadi *buckling*. Pipa akan mengalami *over pressure* saat tekanan eksternal maksimum yang terjadi pada luar pipa melebihi tekanan internal pipa. Sesuai standart DNV OS-F101 seperti berikut ini.

$$\left\{ Y_{SCYm} \left(\frac{M_d}{\alpha_c M_{prt_2}} \right) + Y_{SCYm} \left(\frac{S_d}{\alpha_c S_{prt_2}} \right) \right\}^2 + \left\{ Y_{SCYm} \frac{P_E - P_{min}}{P_c t_2} \right\}^2 \leq 1 \quad (8)$$

Sesuai perhitungan, jika nilainya melebihi angka standart, maka disarankan untuk pemberian *buckle arrestor* untuk mencegah terjadinya *local buckling*. Berikut tabel hasil perhitungan *local buckling*.

Tabel 5.
Hasil Perhitungan *Local Buckling*

Segmen	Local Buckling	
	Overbend	Sagbend
1	0.102596	0.403701
2	0.068905	0.069778
3	0.097232	0.101983
3b	0.064775	0.064778

Pada pipa tidak akan terjadi perambatan buckling apabila maximum external pressure lebih kecil dari *propagation pressure* (P_{pr}). *Propagation Pressure* dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_{pr} = 35fy \cdot \alpha_{fab} \left(\frac{t_2}{D} \right)^{2.5} \quad (9)$$

$$P_{pr} = 1.1956$$

Syarat untuk tidak terjadinya *propagation buckling* adalah :

$$P_e \leq \left(\frac{P_{pr}}{Y_m Y_{SC}} \right)$$

$$P_e \leq 1.20E+06$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka pipa tidak memerlukan *buckle arrestor* karena nilai *external pressure* nya yang masih lebih kecil dari *propagation pressurennya*.

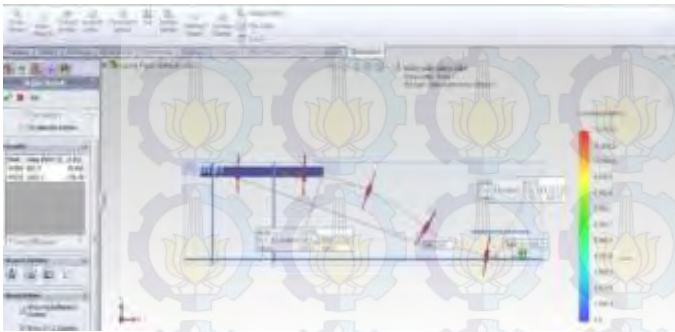
E. Pemodelan dan Analisa Buckling dengan Solid Work

Untuk menghasilkan analisa yang lebih akurat dan sebagai bahan validasi untuk hasil studi kasus ini, maka dilakukanlah simulasi dengan software yang berbasis metode elemen hingga atau *Finite Element Metode (FEM)*.

Beberapa parameter yang digunakan dalam simulasi kali ini adalah :

- Pipa dalam kondisi instalasi dan tidak ada pengaruh fluida di dalamnya.
- Jenis material adalah *Cast Steel*
- Kondisi instalasi dengan keadaan laut tenang atau gelombang kecil sehingga *Lay Barge* tidak mendapat gaya yang begitu besar.
- Tekanan yang didapat pipa saat dalam laut menggunakan perhitungan *external pressure* yang sudah di hitung sebelumnya.
- Gaya *buoyancy* pipa.

Dari hasil simulasi diketahui nilai tegangan yang diterima pipa dalam simulasi tersebut masuk dalam kategori aman karena tidak mencapai batas maksimum tegangan yang di izinkan oleh standard DNV OS F101 dan DNV 1981.



Gambar 4. Hasil Simulasi Solidworks

Diketahui bahwa nilai persebaran tegangan pada pipa dan juga *lay barge* bias dikatakan sangat aman. Dengan demikian tidak diperlukan lagi penggunaan *buckle arrestor pada pipa dengan variasi kedalaman tersebut*.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada saat instalasi pipa tidak mengalami overstress di daerah manapun, ini dikarenakan selain kekuatan material pipa yang baik juga pengaturan radius kurvatur stringer yang tepat. Dimana untuk 4 daerah yang dianalisa dengan kedalaman dan ketebalan pipa yang bervariasi, tegangan yang terjadi pada area *sagbend* dan *overbend* dengan standart DNV 1981 dan DNV OS F101 "*Submarine Pipeline System*" masih memenuhi kriteria, yakni masih kurang dari 87% SMYS pipa.
2. Tidak terjadi *local buckling* karena nilai dari hasil UC masih kurang dari untuk semua segmen pada daerah *sagbend* maupun pada daerah dimana pipa menyentuh dasar laut. Begitu juga risiko *propagation buckling* juga tidak terjadi pada keseluruhan area.
3. Daerah pipa dengan tegangan maksimum tertinggi yakni pada area sat pipa mulai meninggalkan *stringer* dimana disitulah sudut ekstrim pipa terjadi. Dan karena sudut dari pengaturan *fix stringer* yang sudah tepat, dan juga kedalaman laut yang tidak terlalu dalam maka pipa tidak terjadi *over stress*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis A.H.N. mengucapkan banyak terimakasih pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, terutama Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK yang telah memberikan pengalaman serta pengajaran yang sangat bermanfaat bagi penulis untuk membanting mengembangkan potensi akademik maupun non-akademik penulis guna menjadi pribadi yang berguna untuk Nusa dan Bangsa Indonesia

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ajie, Februari. 2012. Metode Pemasangan Pipa Bawah Laut, <http://ajietukangpipa.wordpress.com/2012/02/12/metode-pemasangan-pipa-bawah-laut/>.
- [2] Affiah, Nourmalita, 2011. Analisa Resiko Penggelaran, Pipa Penyalur Bawah Laut Ø 6 Inch

- [3] API RP 1111; 1999; Design, construction, Operation, and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines. Washington DC : American Petroleum Institute.
- [4] DNV 1981 ; Rules for Submarine Pipeline System, Det Norske Veritas; Norway.
- [5] DNV OS-F101; 2007; Rules for Submarine Pipeline System, Det Norske Veritas; Norway.
- [6] Guo, Boyun, 2014. "Design, Installation, and Maintenance Offshore Pipelines".
- [7] Hvidsten, Eivind, 2009. Det Teknisk-Naturvitenskapelige Fakultet
- [8] Prayogo, Sutrisno Hadi, Desember. 2009. Pipeline Installation Engineering ,<<http://sutrisnohadiprayogo.blogspot.com/>>.
- [9] Puja, IGN Wiratmaja, 2011. Analisis Pengaruh Kedalaman Laut Terhadap Distribusi Tegangan dan Regangan Pipa Saat Instalasi Menggunakan Metode S-layer
- [10] Sentosa, Vladimir, Agustus. 2012. Free Span Prediction Analysis with SOLIDWORKS <<http://vladimirsentosa.com/?p=1029>>
- [11] Sentosa, Vladimir, Agustus. 2012. Sign Convention for the Six Laybarge Motion in SOLID WORK <[http://vladimirsentosa.com/2010/08/05/j-layer-analysis-dengan-SOLID WORK-kenapa-tidak](http://vladimirsentosa.com/2010/08/05/j-layer-analysis-dengan-SOLID%20WORK-kenapa-tidak)>