

Analisa Pemasangan Loop Ekspansi Akibat Terjadinya *Upheaval Buckling* pada *Onshore Pipeline*

Hariono, Handayanu, dan Yoyok Setyo Hadiwidodo

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: handayanu@oe.its.ac.id

Abstrak - Pada pipa yang dipendam didalam tanah sering terjadi kegagalan deformasi. Kegagalan deformasi global yang menyebabkan pipa menekuk vertikal ke atas yang disebut sebagai *upheaval buckling*. Lengkungan awal pada pipa penyalur yang terpasang bisa terjadi akibat kombinasi dari kenaikan temperatur saat operasional dan gaya friksi tanah akan menghasilkan gaya tekan aksial efektif pada pipa. Salah satu cara yang akan dibahas pada penelitian ini jika terjadi *upheaval buckling* adalah pemasangan loop ekspansi pada daerah yang mengalami *upheaval buckling*. Loop ekspansi akan divariasikan dengan 2 tipe yaitu tipe loop horizontal dan tipe loop vertical. Pada penelitian ini terlebih dahulu pipa dimodelkan dengan panjang pipa tertentu kemudian ujung-ujungnya diberi tumpuan sehingga didapatkan besar tegangan longitudinal sebesar 41366,563 Psi. Tegangan tersebut melebihi tegangan ijin sehingga pipa mengalami ekspansi termal atau elongasi yang membentuk lengkungan keatas dengan tinggi 0.259 meter. Maka dilakukan pemodelan loop ekspansi untuk meredam elongasi tersebut dengan panjang loop 5.3 meter. Kedua loop tersebut mampu meredam tegangan aksial menjadi 3662 Psi untuk tipe loop horizontal dan 3670 Psi untuk tipe loop vertical. Dari kedua tipe loop tersebut kemudian juga dilakukan perbandingan besar tegangan yang terjadi pada bagian *elbow*. Maka didapatkan bahwa tipe loop horizontal mengalami tegangan relatif lebih kecil dari pada tipe loop vertical sehingga sebagai bahan rekomendasi maka pemasangan loop horizontal lebih diutamakan.

Kata-kunci: upheaval buckling, ekspansi loop, deformasi global, elongasi

I. PENDAHULUAN

JALUR pipa darat merupakan sebuah jalur pipa yang berfungsi untuk menerima aliran fluida dari fasilitas *offshore* ataupun mengalirkan fluida dari fasilitas *onshore* ke fasilitas *onshore* lainnya. *Onshore pipeline* biasanya dipendam di bawah tanah agar terhindar dari aktivitas daratan. Walaupun dengan melakukan pemendaman didalam tanah tetap akan muncul masalah baru yang harus dipertimbangkan dalam desain. Pada pipa yang dipendam didalam tanah sering terjadi kegagalan yang disebut *buckling*. Kegagalan ini berupa deformasi tekukan yang bisa terjadi baik pada dinding pipa maupun seluruh bagian pipa. *Buckling* yang ditinjau kasus ini adalah *global buckling* dimana deformasi yang terjadi pada seluruh bagian segmen pipa.

Kegagalan deformasi global yang menyebabkan pipa menekuk vertikal keatas seperti ini biasanya disebut sebagai *upheaval buckling*. Lengkungan awal pada pipa

penyalur yang terpasang bisa terjadi akibat kombinasi dari kenaikan temperatur saat operasional dan gaya resistant tanah akan menghasilkan gaya tekan aksial efektif pada pipa yang akan menimbulkan gaya tekan vertikal pipa terhadap lapisan tanah di atasnya. Jika gaya tahanan tanah tidak cukup besar untuk menahan gaya dorongan vertikal yang disebabkan pipa maka pipa tersebut akan mencuat vertikal keatas menembus tanah hingga membentuk tekukan sebagai hasil dari deformasi akibat ekspansi termal.

Hal tersebut sangat membahayakan apabila tidak diantisipasi lebih awal. Banyak faktor yang menyebabkan *upheaval buckling* terjadi pada saat kondisi operasinya antara lain *internal pressure*, temperatur, dan kondisi tanah.^[1]



Gambar 1. *Upheaval Buckling* pada pipa penyalur gas akibat kenaikan temperatur^[2]

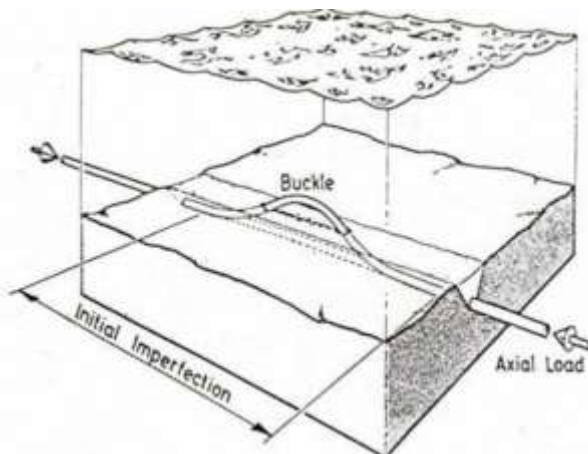
Beberapa usaha telah dilakukan selama ini untuk mengatasi apabila terjadi kegagalan pipa akibat *upheaval buckling*. Salah satu cara yang akan dibahas pada penelitian ini adalah pemasangan loop ekspansi pada daerah yang mengalami *upheaval buckling*. Fungsi loop ekspansi adalah untuk mengontrol *physical properties* dari material pipa yang digunakan, misalnya *elongation (stress-strain)* yang terjadi pada pipa dan lebih disebabkan oleh ekspansi termal.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Konsep Umum Upheaval Buckling

Global buckling sendiri ada beberapa jenis antara lain adalah *upheaval buckling*, *lateral buckling*, dan *downward* pada *freespan*. *Global buckling* sendiri merupakan defleksi berlebih yang terjadi pada keseluruhan segmen *pipeline*.

Sistem *pipeline* harus cukup kuat untuk menahan beban operasi selama instalasi *pipeline* dan saat kondisi operasinya. selama kondisi operasi pipa akan mengalami pembebanan internal dan eksternal berupa perubahan tekanan dan temperatur fluida yang mengalir didalamnya serta perubahan tekanan dari luar. Pada saat operasional, temperatur pipa akan mengalami kenaikan dibandingkan dengan saat instalasi dilakukan. Kenaikan ini menyebabkan elongasi (pemanjangan) pipa yang besarnya tergantung pada sifat mekanik materialnya. Namun karena kondisi pipa yang dikubur didalam tanah, maka pipa tidak dapat mengalami elongasi karena ditahan oleh gaya friksi tanah dan berat timbunan tanah tersebut^[3]. Untuk mempermudah gambaran terjadinya fenomena *soil liquefaction* dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2. Ilustrasi Upheaval buckling^[3]

B. Teori Tegangan pada Sistem Pipa

Beban yang bekerja pada sistem pipa akan menyebabkan timbulnya tegangan dinding pipa. Kombinasi tegangan-tegangan yang bekerja pada dinding pipa akan menyebabkan regangan atau defleksi. Besarnya tegangan akibat beban operasi tekanan internal fluida yang dialirkan didalam pipa dapat diturunkan dari persamaan mekanika untuk bejana ber dinding tipis^[4]. Dalam hal ini untuk pipa penyalur fluida dalam bentuk gas menggunakan code ASME B31.8 sesuai dengan code tersebut terdapat batasan-batasan besarnya tegangan yang diijinkan bekerja pada sistem pipa baik saat operasi maupun instalasi.

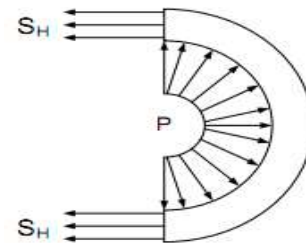
Tabel 1. Tegangan ijin pada masing-masing kondisi operasi^[5]

Design Condition	Allowable		
	Hoop stress	Longitudinal stress	Combined stress
Operating	72% SMYS	80% SMYS	90% SMYS
Hydrotesting	90% SMYS	-	96% SMYS
Installation	72% SMYS	80% SMYS	90% SMYS

1. Tegangan Hoop

Tegangan hoop adalah tegangan yang bekerja pada pipa dengan arah tangensial atau *circumferential*. Besar tegangan ini bergantung pada variasi tebal dinding pipa

yang mempengaruhi tekanan internal. Tegangan dapat dihitung dengan persamaan berikut^[6]:



Gambar 3. Arah hoop stress terhadap potongan melintang pipa

$$S_h = P_i \left(\frac{D}{2t} \right) \quad (1)$$

dengan,

S_h = Hoop Stress (Psi)

P_i = Disain tekanan internal (Psi)

P_e = tekanan eksternal (Psi)

D = Diameter luar pipa (in)

t = Tebal nomina pipa (in)

2. Tegangan longitudinal

merupakan tegangan yang timbul sebagai kombinasi pengaruh 2 komponen sebagai berikut :

2.1. Tegangan kompresif akibat ekspansi termal

Beda temperatur saat instalasi dan operasi menyebabkan ekspansi termal kearah longitudinal, namun karena *pipeline* dalam kondisi *restrained pipeline*, maka pipa tidak dapat mengalami ekspansi sehingga timbul tegangan termal :

$$\sigma_T = -E\alpha(T_2 - T_1) \quad (2)$$

dengan,

E = Modulus Young (Psi)

α = Koefisien ekspansi termal = 11.7×10^{-6} ($^{\circ}\text{F}^{-1}$)

T_2 = Temperatur operasi maksimum ($^{\circ}\text{F}$)

T_1 = Temperatur instalasi ($^{\circ}\text{F}$)

2.1. Tegangan tensile

Pengaruh poisson menggambarkan rasio regangan yang terjadi pada arah melintang terhadap regangan arah longitudinal. Dengan kata lain, tegangan *hoop* akan menimbulkan pengaruh tegangan tarik poisson pada arah longitudinal. Berikut adalah tegangan tarik longitudinal akibat pengaruh poisson pada pipa tertahan.

$$\sigma_P = \nu \cdot \sigma_h \quad (3)$$

dengan,

ν = Poisson ratio = 0.3

σ_h = Tegangan *hoop* (Psi)

Melalui kedua komponen tegangan termal dan tegangan pengaruh poisson ini, maka tegangan longitudinal pipa yang berada dalam kondisi *restraint* adalah :

$$\sigma_L = \nu \cdot \sigma_h - E\alpha(T_2 - T_1) \quad (4)$$

3. Tegangan kombinasi (Von Mises)

Tegangan-tegangan yang bekerja pada arah berbeda-beda pada pipa dapat dipandang secara menyeluruh dengan menggunakan hubungan Von Mises sehingga diperoleh tegangan ekuivalen Von Mises sebagai berikut:

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_L^2 - (\sigma_h \sigma_L) + 3\tau^2} \quad (5)$$

dengan,

- σ_E = Tegangan ekuivalen Von Mises (Psi)
- σ_h = Tegangan *hoop* (Psi)
- σ_L = Tegangan longitudinal (Psi)
- τ = Tegangan geser (Psi)

C. Gaya Aksial

Gaya aksial efektif ini merupakan gaya yang bekerja pada sumbu pipa sehingga mendorong terjadinya secara global kearah vertikal. Karena pipa diletakkan secara horisontal, maka gaya aksial yang terjadi pada pipa merupakan gaya yang terbentuk oleh tegangan longitudinal.

D. Gaya Friksi Tanah

Gaya friksi pada pipa merupakan kombinasi gaya friksi tanah disekeliling pipa serta berat pipa itu sendiri. Besarnya gaya friksi tanah bergantung pada jenis tanah timbunan yang digunakan, serta ketinggian timbunan tanah diatas pipa (kedalaman pipa dipendam). Selain itu juga terdapat pengaruh lebar *trench* pipa. Besar gaya friksi tanah dan berat pipa dapat dinyatakan sebagai berikut^[6]:

$$f = S_s D \min\left(3, \frac{H}{D}\right) \quad (8)$$

dengan,

- f = Gaya friksi tanah (lb/in)
- μ = koefisien friksi
- H = Kedalaman timbunan tanah (in)
- D = Diameter pipa (in)
- S_s = Soil Shear Strength (Psi)

Tekanan tanah yang bekerja di atas pipa yang dipendam pada kedalaman lebih dari 3 kali diameter pipa adalah sebagai berikut:

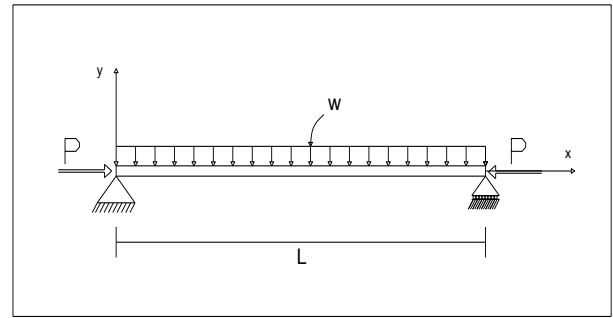
$$S_s = \gamma \cdot F_i \cdot C_d \cdot B_d \quad (9)$$

dengan,

- S_s = Soil Shear Strength (Psi)
- γ = Massa jenis tanah (lb/in³)
- F_i = Impact Factor berdasarkan ASCE 2001
- C_d = Parameter non-dimensi
- B_d = Lebar *trench* pipa (in)

E. Analisa Balok Kolom

Pada kasus ini pipa dimodelkan sebagai sebuah balok yang selain mendapat beban tekan aksial juga mendapatkan beban tanah sepanjang kolom tersebut. Dalam hal ini beban tekan aksial yang bekerja adalah akibat tegangan longitudinal dan untuk beban merata yang bekerja sepanjang balok adalah penjumlahan gaya friksi tanah dan berat tanah itu sendiri.



Gambar 4. Balok-kolom yang mengalami gaya aksial dan transversal

Berdasarkan gambar diatas didapatkan persamaan umum balok dengan beban aksial (P) dan kombinasi beban transversal kearah bawah sepanjang balok (w) sebagai berikut^[7]:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) + P \frac{d^2 y}{dx^2} = w(x)$$

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + P \frac{d^2 y}{dx^2} = w(x) \quad (10)$$

buckling pada *pipeline* akibat beban aksial dapat direpresentasikan dengan persamaan dibawah ini^[8]:

$$y = \frac{m}{n^4} \left(-\frac{\cos nx}{\cos nL/2} - \frac{n^2 x^2}{2} + \frac{n^2 L^2}{8} + 1 \right) \quad (11)$$

dengan,

$$m = \frac{w}{EI} \text{ dan } n = \sqrt{\frac{P}{EI}}$$

Sehingga untuk kasus ini berdasarkan persamaan diatas maka didapatkan besar defleksi maksimum yang terjadi pada pipa adalah sebagai berikut:

$$y = 2.408 \times 10^{-3} \frac{wL^4}{EI} \quad (12)$$

F. Loop Ekspansi

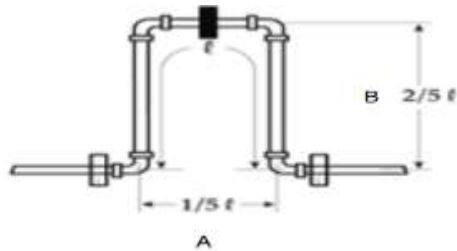
Loop ekspansi adalah salah satu cara repair yang bisa dilakukan apabila pipa mengalami *overstress* dalam hal ini pipa mengalami kegagalan *upheaval* karena fungsi loop ekspansi adalah untuk mengontrol *physical properties* dari material pipa yang digunakan, misalnya elongation (*stress-strain*) yang terjadi pada pipa dan lebih disebabkan oleh ekspansi termal^[9]. Desain loop ekspansi baik posisi vertikal ataupun horizontal dilakukan agar mampu mengakomodasi *buckling*. Maka pipa harus memiliki panjang loop yang cukup untuk mengatasi hal tersebut. Panjang loop yang dibutuhkan untuk menahan defleksi *upheaval buckling* yang terjadi adalah sebagai berikut^[10]:

$$\ell = \sqrt{\frac{3ED(y)}{2S}} \quad (13)$$

dengan,

- ℓ = Panjang Loop (m)
- E = Modulus Elastisitas (MPa)
- D = Diameter eksternal pipa (m)
- Y = Ekspansi termal yang harus ditahan pipa (m)

S = Spesified Minimum Yield Stress (MPa)
Parameter-parameter kriteria pemasangan *loop* ini dapat diilustrasikan dalam gambar sebagai berikut :



Gambar 6. Skema design loop ekspansi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Hasil Data

Data opsersioanal pipa yang meliputi diameter ,ketebalan pipa , dsb. Diasumsikan berdasarkan data pipa yang sudah dipasang yang dikombinasikan dengan data-data pipa yang akan didesain. Berdasarkan data-data pipa maka dapat dihitung harga-harga properties pipa yang lain antara lain adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Data properties pipa setelah dilakukan perhitungan

Parameter	Nilai
Luas Permukaan pipa melintang (A_s)	14.57 in ²
Luas permukaan pipa dalam (A_i)	113.04 in ²
Luas permukaan pipa luar (A_o)	127.61 in ²
Momen Inersia (I)	279.3 in ⁴
Massa pipa per satuan panjang (W_p)	4.15 lb/in



Gambar 7. Gambar Lokasi pipa yang dimodelkan

B. Analisa Perhitungan Gaya Friksi dan Beban Tanah

Gaya friksi tanah dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain tekanan tanah yang bekerja pada pipa, luas penampang permukaan pipa, dan lebar *trench*. Sehingga dapat dihitung *shear strength* yang bekerja pada pipa pada tiap kedalaman dengan menambahkan *impact factor* dalam kasus ini harga $F_i = 1$, akibat beban hidup yang berada diatas permukaan tanah.

Tabel 7. *Shear strength* yang Bekerja pada pipa (S_s) dan Gaya Friksi untuk Tiap-tiap Lokasi

lokasi	S_s (kg/m ³)	f (Kg/m)	f (lb/in)
BD 1	2205.792	3308.688	185.2783
BD 2	2861.568	4292.352	240.3611
BD 3	2354.832	3532.248	197.7971
BD 4	2116.368	3174.552	177.767

Sebagai total beban yang menahan pipa agar tidak terjadi upheaval buckling maka total beban merupakan hasil penjumlahan gaya friksi tanah dan beban tanah diatasnya. Untuk beban tanah sendiri adalah beban tanah yang berada diatas pipa yang sangat tergantung kedalaman dan lebar timbunan tanah.

Tabel 8. Total beban tanah per satuan panjang yang menahan pipa untuk tiap-tiap lokasi

Lokasi	Beban Tanah lb/in	Gaya Friksi (f) lb/in	Total Beban (w) lb/in
BD 1	87.791	185.2783	273.069
BD 2	113.891	240.3611	354.252
BD 3	93.723	197.7971	291.520
BD 4	84.232	177.767	261.999

Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan kemungkinan terjadinya upheaval buckling terbesar berada pada lokasi BD 4 karena memiliki total beban terkecil yaitu sebesar 261.999 lb/in. Tetapi kemungkinan terjadi upheaval buckling juga bisa terjadi pada lokasi boring BD 1 karena nilainya tidak jauh berbeda yaitu sebesar 273.069 lb/in . Sedangkan untuk BD 2 juga sangat memungkinkan terjadi *upheaval buckling* walaupun beban tanah yang terjadi pada titik ini paling besar yaitu sebesar 354.252 lb/in. Hal tersebut dapat diketahui dengan menghitung gaya aksial kompresif yang terjadi pada pipa terlebih dahulu.

C. Analisa Gaya Aksial Kompresif

Pada perhitungan ini dilakukan perhitungan gaya aksial yang dialami pipa akibat adanya tegangan longitudinal. Tegangan longitudinal akibat ekspansi termal merupakan faktor terbesar munculnya tegangan longitudinal. Karena adanya perbedaan temperatur (ΔT) yang cukup besar yaitu sebesar 100°F sehingga tegangan longitudinal akibat ekspansi termal sangat berpengaruh signifikan terhadap besarnya gaya aksial yang terjadi.

Dari hasil perhitungan gaya aksial yang terjadi pada pipa maka didapat gaya aksial maksimum sebesar 532387.8 lb. Hal ini menunjukkan bahwa gaya aksial yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan gaya friksi yang terjadi. Lokasi BD 1 dan BD 2 merupakan lokasi yang mempunyai kemungkinan terbesar mengalami upheaval buckling. Tetapi lokasi lain juga sangat mungkin terjadi karena gaya aksial yang terjadi terlalu besar dibandingkan total beban tanah (w).

D. Analisa Hasil Pemodelan Pipeline Pada software

pipeline dimodelkan di atas permukaan tanah dan diberi tumpuan pada ujung-ujung pipa sebagai *restrain*-nya dan semua kondisi pembebanan dimasukkan

diantaranya tekanan, temperatur, dan total beban tanah di atasnya maka Berikut adalah tampilan gambar pada *software* yang kemudian akan di-running. Apabila tidak terdapat command error pada hasil running awal maka dapat dilanjutkan untuk running berikutnya sehingga didapatkan hasil output tegangan dan displacemennya.



Gambar 8. Gambar plot pemodelan *pipeline* pada *software*

Tabel 9. Besar komponen tegangan pada *pipeline*

Komponen	Tegangan (Psi)			Koreksi (%)
	Analitical	Numerik	Allowable	
Hoop	12240	12758	33120	4.06
Axial	40212	41366	36800	2.79
Von Mises	35702	37273	41400	4.22

Berdasarkan model pipa diatas maka didapatkan tegangan axial atau tegangan longitudinal sebesar 41366,563 Psi. Tegangan berdasarkan pemodelan pada *software* lebih besar dari perhitungan secara analitik pada subbab sebelumnya. Nilai ini lebih besar jika dibandingkan perhitungan analitik pada subbab sebelumnya tetapi nilai ini masih memenuhi criteria tegangan yang diijinkan. Berdasarkan tabel diatas juga didapatkan rata-rata koreksi 3.69% dan dengan koreksi tertinggi 4.22 %.

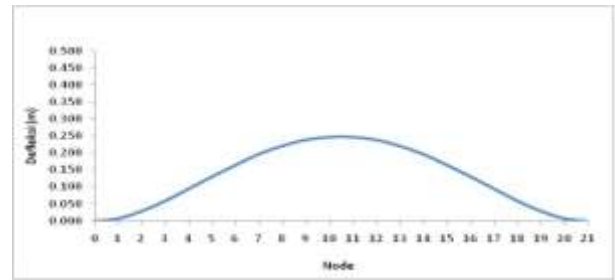
E. Analisa Balok Kolom

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan defleksi maka didapatkan variasi panjang buckling disetiap titik boring dangkal dan besar defleksi maksimum yang terjadi.

Tabel 10. Variasi panjang buckling yang terjadi pada setiap titik boring

Lokasi	Beban Tanah (w) lb/in	Panjang Buckling (L) in	Defleksi Maksimum (y) in
BD 1	273.069	480.360	9.517
BD 2	354.252	450.097	9.517
BD 3	291.520	472.572	9.517
BD 4	261.999	485.355	9.517

Dalam tabel diatas maka didapatkan bahwa pada lokasi BD 4 diketahui memiliki panjang buckling terbesar yaitu sebesar 571.052 inchi atau sama dengan 16 meter. Sedangkan untuk besar defleksi maksimum relative sama yaitu sebesar 10.264 inchi atau sama dengan 0.259 meter.



Gambar 9. Grafik defleksi yang terjadi pada pipa

Berdasarkan analisa secara analitik didapatkan harga defleksi yang lebih besar yaitu sebesar 9.517 inchi atau sama dengan 0.241 meter dibandingkan dengan hasil analisa numerik (*software*) yang sebesar 0.243 meter, dengan koreksi sebesar 0.7 %. Hal ini disebabkan pada perhitungan analitik dimungkinkan ada pengaruh dari defleksi searah sumbu lateral sedangkan untuk analisa numerik diberikan *boundary conditions* searah sumbu lateralnya.

F. Analisa Pemasangan Loop Ekspansi

Untuk mengakomodasi defleksi sebesar 0.243 meter yang terjadi pada simulasi diatas maka pipa harus memiliki panjang *loop* yang cukup agar defleksi tidak terjadi dalam bentuk *buckling*. Dengan memasang *loop* sepanjang 5.07 m diharapkan *upheaval buckling* sebesar tidak terjadi. Panjang *loop* tersebut dirasa masih bisa untuk dilakukan mengingat masih tersedianya tempat yang memungkinkan baik *loop* vertikal maupun *loop* horizontal. Maka kedua tipe diatas dapat dimodelkan dengan menggunakan *software*



Gambar 10. Model *loop* ekspansi untuk tipe horizontal



Gambar 11. Model *loop* ekspansi untuk tipe vertikal

Tabel 11. Perbandingan besar tegangan yang terjadi setelah dilakukan pemodelan *loop* horizontal dan *loop* vertikal

Komponen	Tegangan (Psi)		
	Loop Horizontal	Loop Vertikal	Allowable

Hoop	12758	12758	33120
Axial	3662	3670	36800
Von Mises	15927	18347	41400

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan adalah setelah dilakukan pemodelan loop ekspansi maka tegangan aksial akibat ekspansi termal yang sebelumnya melampaui tegangan ijin sehingga menyebabkan timbulnya global buckling dapat diredam dengan adanya loop ekspansi sehingga tegangan aksial yang terjadi turun menjadi 3662 Psi untuk tipe loop horizontal dan 3670 Psi untuk tipe loop vertikal. Dalam hal ini tegangan-tegangan yang ditinjau adalah tegangan pada daerah *elbow* (belokan) pada pipa loop dan tegangan keseluruhan setelah dimodelkan loop.

Tabel 12. Perbandingan besar tegangan yang terjadi pada bagian *elbow* pada masing-masing tipe loop ekspansi

Node	Tegangan (Psi)	
	Loop Horizontal	Loop Vertikal
50	12010.0	11574.2
58	12397.3	13113.0
59	8387.9	14750.5
60	6754.9	15905.7
70	11136.9	15914.1
78	13278.0	15927.0
79	14749.8	14797.3
80	15729.6	13152.8

Berdasarkan tabel diatas maka dapat diketahui bahwa pada titik-titik atau pada bagian elbow-elbow loop ekspansi merupakan bagian yang paling kritis sehingga penting diketahui besar tegangan yang terjadi pada titik-titik tersebut. Pada tabel diatas didapatkan tegangan sebesar 15729.6 Psi sebagai tegangan terbesar yang terjadi pada tipe loop horizontal sedangkan pada loop vertikal didapatkan tegangan terbesar sebesar 15905.7 Psi. Jika dilihat dari rata-rata tegangan yang terjadi pada bagian elbow maka untuk loop horizontal didapatkan rata-rata sebesar 11634.6 Psi sedangkan untuk loop vertikal sebesar 14051.9 Psi.

IV. KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan permodelan pipa diatas maka didapatkan tegangan axial sebesar 41366,563 Psi. Tegangan berdasarkan pemodelan pada software lebih besar dari perhitungan secara analitik sebesar 40212 Psi sehingga selisihnya 2.79%.
2. Untuk mengakomodasi defleksi sebesar 0.243 meter yang terjadi pada simulasi dengan memasang *loop* sepanjang 5.07 m
3. Setelah dipasang loop maka tegangan aksial yang terjadi menjadi 3662 Psi untuk tipe loop horizontal dan 3670 Psi untuk tipe loop vertikal. Jika dilihat dari rata-rata tegangan yang terjadi pada bagian elbow maka untuk loop horizontal didapatkan rata-rata sebesar

11634.6 Psi sedangkan untuk loop vertikal sebesar 14051.9 Psi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prayoga, F.S., 2011, *Studi Pengaruh Temperature, Tekanan Internal dan Kedalaman Tanah terhadap Mekanisme Upheaval Buckling pada Onshore Pipeline*, Tugas Akhir : Jurusan Teknik Kelautan.
- [2] Harahap, D., 2007, Analisis Kasus Upheaval Buckling Pada Onshore Pipeline, Tugas Akhir : Institut Teknologi Bandung
- [3] Rahman, F.F., 2012, *Analisa Penyebab terjadinya upheaval buckling pada pipeline 16" dan corrective action*, Tugas Akhir: Jurusan Teknik Kelautan.
- [4] Popov, E.P., 1978, *Mechanism of Material*, Edisi ke-2, Prentice Hall, inc, Englewood Cliff, New Jersey, USA.
- [5] American Society of Mechanical Engineering (ASME) B31.8, "Pipeline Transportation Sistem for gas Hydrocarbon and Other gas", USA, 2002.
- [6] American Society of Mechanical Engineering (ASME) B31.1, "Power Piping Non-mandatory Appendix VII Procedur for The Design of Restrained Underground Piping", USA, 2002
- [7] Choi, H.S., 2000, Free spanning analysis of offshore pipelines, *Ocean Enggineering Journal*
- [8] Hobbs, R. E., 1981, Pipeline Buckling Caused by Axial Loads, Proceedings of the Institution of Civil Engineers
- [9] Rara, D. M., 2009, *Analisa Hidrodinamika Aliran Fluida Internal Dan Vibrasi Pada Expansion Loop Vertikal dan Horisontal*, Tugas Akhir: Jurusan Teknik Kelautan ITS.
- [10] Antaki, A.G., 2003, *Piping and Pipeline Engineering Design, Construction, Maintenance, Integrity, and Repair*, USA