

ANALISA STRESS PADA CRITICAL LINE FLEXIBLE PIPE AKIBAT PENAMBAHAN CONCRETE MATTRESS SUPPORT

Fiqih Azmi Aziz^{1*}, Muh. Anis Mustaghfirin², Daisy Dwijati Kumala R³

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan TPK, PPNS, Surabaya, Indonesia^{1*}

Jurusan TPK, PPNS, Surabaya, Indonesia²

Jurusan TPK, PPNS, Surabaya, Indonesia³

Email: Fiqihazmi@gmail.com^{1*}; mustaghfirin@gmail.com^{2*}; daisy.dwijati@gmail.com^{3*};

Abstrak

Pada penelitian ini, proyek PT.ZEE INDONESIA melingkupi jalur yang menyambungkan antara Mopu dan *subsea manifold* berisi fluida yang diasumsikan *crude oil* bersuhu 120°C dengan dimensi *flexible pipe* sebesar 10" dan 12". Pada tahap engineering atau analisa ditemukan adanya *over stress* sebesar 2161 MPa yang berada pada sambungan antara *flexible pipe* dengan *subsea manifold*. *Allowable stress* dari material *flexible pipe* tersebut sebesar 103,4 MPa sehingga *pipe support* perlu dipasang pada jalur tersebut. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pemodelan konfigurasi *catenary free hanging* dan *lazy wave*. *Support* yang efisien dari segi pemasangan dan biaya adalah *concrete mattress support*. Pemodelan *software* ORCAFLEX menghasilkan besar tegangan yang dinamis dan posisi tegangan terbesar. Penelitian ini dilanjutkan dengan perhitungan manual tegangan statis sehingga hasil perhitungan secara manual dan menggunakan *software* dapat divalidasi. Berdasarkan hasil pengolahan dan analisa pemodelan tersebut dapat disimpulkan bahwa konfigurasi yang nilai tegangannya berada di bawah tegangan ijin adalah konfigurasi *Lazy Wave* dengan *mattress support* yang menghasilkan nilai tegangan von mises sebesar 2,648 Mpa. Model konfigurasi *Free Hanging* menghasilkan nilai tegangan *Von Mises* sebesar 261,500 Mpa. Jadi pemodelan yang cocok untuk kasus ini adalah konfigurasi *lazy wave* dengan *mattress support*.

Kata kunci : Analisa Tegangan, Mattress Support, Flexible Pipe.

1. PENDAHULUAN

Overstress dalam dunia industry sangat dihindari karena hal ini dapat menyebabkan kebocoran atau kegagalan dalam sistem perpipaan. Dalam dunia offshore terdapat beberapa metode untuk menghindari terjadinya *overstress* yaitu dengan pemasangan *support*, terdapat beberapa tipe *support* yang umum digunakan yaitu seperti *sleeper support*, *pyramid bag support* dan *concrete mattress support*, namun *support* yang digunakan pada penelitian ini adalah *concrete mattress support* karena dinilai lebih layak digunakan untuk material *flexible pipe*. *Concrete mattress support* dinilai lebih mudah dalam segi pemasangan dan juga murah dari segi biaya dibandingkan dengan *pyramid bag support*. Kasus ini menggunakan konfigurasi *free hanging catenary* dan *lazy wave*. Dalam kasus ini material *flexible pipe* menggunakan pvd 740 dan fluida yaitu *crude oil* dengan suhu 120 °C. Dan diharapkan *overstress* yang

terjadi dapat berkurang hingga dibawah *allowable* dari pipa.

2. METODOLOGI

2.1 Prosedur Penelitian

Pemodolan konfigurasi *free hanging* dan *lazy wave* dilakukan dalam *software* orcafex untuk menghasilkan tegangan dinamis yang terjadi serta posisi node yang mengalami stress paling tinggi. Setelah melakukan pemodelan maka dilanjutkan dengan melakukan perhitungan manual untuk memvalidasi antara perhitungan *software* dan manual tersebut.

2.2. Gaya pada pipa

Terdapat beberapa gaya yang bekerja pada pipa yaitu gaya Tarik dan gaya horizontal berikut adalah formula dari masing masing gaya yang terjadi.

- a. Gaya horizontal pipa (Fh)

$$F_h = R_{cv} \times W_{sw} \quad (1)$$

Persamaan 1 menunjukkan persamaan gaya horizontal pada pipa. Sesuai dengan persamaan diatas, Fh merupakan gaya horiontal (kN), R_{cv} (m), W_{sw} merupakan berat pipa terendam *full of water (fluid)* (kN/m)

- b. Gaya tarik pipa (T)

$$F_h + (W_{sw} \times d) \quad (2)$$

Persamaan 2 menunjukkan persamaan gaya Tarik pipa (N). Sesuai dengan persamaan diatas, Wsw merupakan berat pipa terendam berisi fluida (Kn/m), dan d merupakan kedalaman tiap node pada pipa (m).

- c. Momen Inersia (I)

$$(D_0^4 - D_i^4) \times \frac{\pi}{64} \quad (3)$$

Persamaan 3 menunjukkan persamaan momen inersia. Sesuai dengan persamaan diatas, D_0 merupakan diameter luar pipa (m), D_i merupakan diameter dalam pipa (m).

2.3. Perhitungan Catenary

Pada perhitungan ini terdapat beberapa point perhitungan, berikut adalah perhitungannya,

- a. Jarak horizontal (XTDP)

$$\frac{T}{w} \times \cosh^{-1} \left(\frac{z \times w}{T_h} + 1 \right) \quad (4)$$

Persamaan 4 menunjukan perhitungan desain catenary, dimana T adalah tegangan tarik (N), z adalah kedalaman node (m), dan w adalah berat pipa terendam (N/m).

- b. Panjang kurva atau catenary hingga TDP

$$\frac{T}{w} \times \sinh \left(\frac{w \times XTDP}{T_h} \right) \quad (5)$$

Persamaan 5 menunjukan berapa panjang kurva hingga ke TDP atau touch down point. Dimana (T) adalah gaya tarik (N), w adalah kedalaman setiap node (m), XTDP adalah jarak horizontal antar node (m).

- c. Tegangan tarik ujung SCR

$$T = \sqrt{Tva^2 + Tha^2} \quad (6)$$

Pada persamaan 5 digunakan untuk menghitung tegangan Tarik pada ujung SCR dimana, Tva adalah w x XTDP dan Tha adalah gaya Tarik pada pipa.

- d. Momen bending

$$M = \frac{E I}{R} \quad (7)$$

$$\theta = \frac{S}{R} \quad (8)$$

Variable R atau radius kurva harus diketahui terlebih dahulu sehingga perhitungan diawali dengan persamaan 8. Dimana E adalah modulus elastisitas atau modulus young (Mpa), I adalah momen inersia (m^4), R radius kurva (m).

2.4. Perhitungan Tegangan Von Mises.

- a. Hoop Stress

$$(P_i - P_0) \frac{D_0}{2.t} \quad (9)$$

Perhitungan di atas menunjukan formula untuk mengkalkulasi hoop stress yang dimana P_i adalah tekanan *internal* (N/mm^2), P_0 adalah tekanan *eksternal* (N/mm^2) dimana tekanan eksternal ini mengikuti tekanan pada tiap node yang terbagi dalam beberapa meter kedalaman yang berbeda.

- b. Radial Stress

$$\sigma_r = \frac{(P_0 D_0 + P_i D_i)}{D_0 + D_i} \quad (10)$$

Persamaan 10 menunjukan perhitungan radial stress yang dimana P_i adalah tekanan *internal* (N/mm^2), D_i adalah diameter dalam (m) P_0 adalah tekanan *eksternal* (N/mm^2) dimana tekanan eksternal ini mengikuti tekanan pada tiap node yang terbagi dalam beberapa meter kedalaman yang berbeda dan D_0 adalah diameter luar *flexible pipe* (m).

c. Axial stress

$$\sigma_A = \frac{D_i M_b}{2 \times I} + \frac{T_a}{A} \quad (11)$$

persamaan 11 menjelaskan perhitungan axial stress yang dimana D_i adalah diameter dalam pipa (m), M_b adalah momen bending pipa pada tiap node (Kn.m), T_a adalah gaya tarik pipa (Kn), I adalah momen inersia (m^4) dan A adalah luas penampang pipa (mm^4).

d. Von Mises Stress

$$\sqrt{2} \sigma_v = \sqrt{(\sigma_r - \sigma_h)^2 + (\sigma_h - \sigma_a)^2 + (\sigma_a - \sigma_r)^2} \quad (12)$$

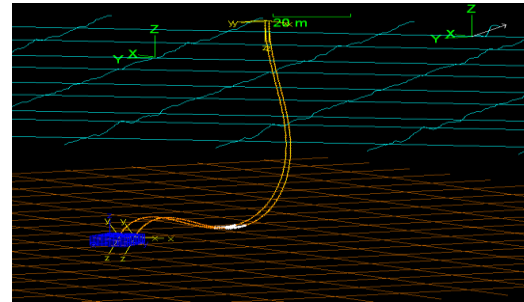
Persamaan 12 ini adalah persamaan terakhir yang dikalkulasi yang nantinya akan menemukan hasil akhir untuk divalidasi dengan software orcaflex. Dimana σ_r adalah radial stress (N/mm^2), σ_h adalah hoop stress (N/mm^2) dan σ_a adalah axial stress (N/mm^2).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

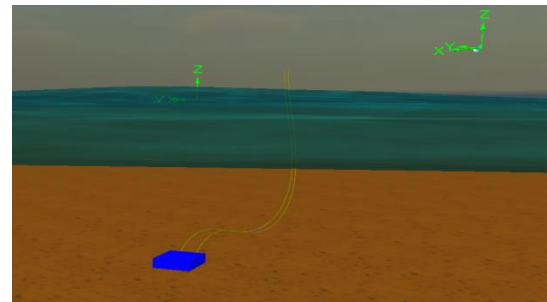
3.1. Analisa

Pada studi kasus ini terdapat 2 model *catenary* yaitu *Free hanging Catenary* dan konfigurasi *Lazy Wave*. Kedua konfigurasi ini dianalisa agar mendapatkan nilai tegangan yang di bawah allowable yaitu sebesar 103,4 Mpa. setelah dilakukan pemodelan dan perhitungan manual pada konfigurasi *free hanging catenary* dihasilkan nilai tegangan yang masih di atas nilai *allowable* yaitu sebesar 261500 kPa atau 261,500 Mpa tegangan itu terjadi pada ujung riser atau pada node 1, nilai tersebut dihasilkan pada software orcaflex, sedangkan apabila di hitung manual nilai dari tegangan Von Mises konfigurasi *Free hanging catenary* adalah sebesar 96126 kPa. Sehingga error yang terjadi antara perhitungan manual dengan software adalah sebesar 63%. Berikut adalah table analisa perbandingan perhitungan software dan perhitungan manual. Lalu pada konfigurasi *Lazy wave* dilakukan pula perhitungan melalui software dan manual, hasil dari perhitungan manual adalah sebesar 2648,02 kPa hasil perhitungan ini telah berada di bawah nilai

tegangan yang diijinkan yaitu sebesar 103,4 Mpa. pada konfigurasi ini pula dilakukan perhitungan menggunakan bantuan software orcaflex dan dihalikan tegangan von mises sebesar 2206,521 kPa. Sehingga eror yang di dihasilkan pada perhitungan antara manual dan software adalah sebesar 16 %

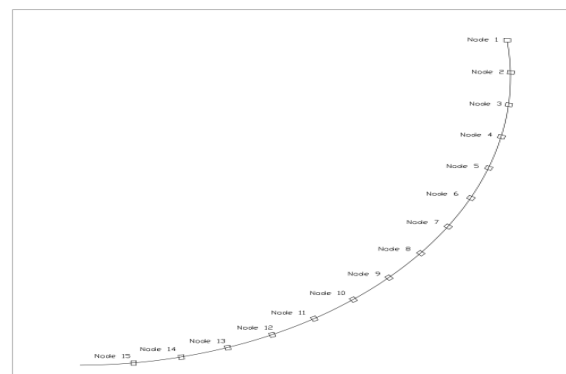


Gambar 1. Pemodelan orcaflex free hanging Catenary



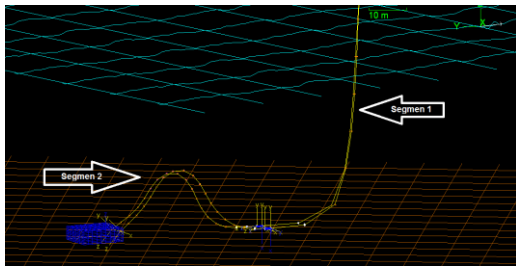
Gambar 2. Pemodelan orcaflex free hanging catenary 3d

Pada pemodelan *free hanging catenary* dibagi menjadi 15 node yang seperti pada gambar dibawah ini

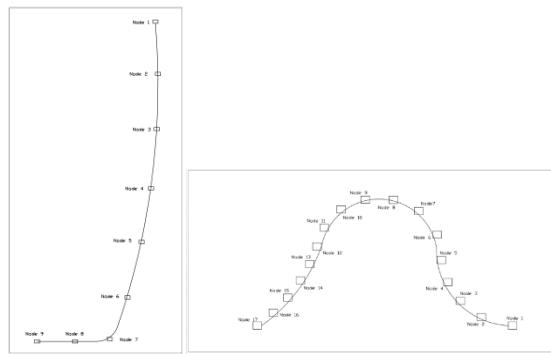


Gambar 3. Node pada *free hanging*

Berbeda dengan *free hanging* pemodelan lazy wave dibagi menjadi 2 segmen dan pada tiap segmen dibagi lagi menjadi beberapa node. Pada segmen 1 terbagi menjadi 9 node dan pada segmen 2 terbagi menjadi 17 node. Berikut adalah gambar detail dari node tersebut.



Gambar 4. Pemodelan konfigurasi *Lazy Wave*



Gambar 5. Pembagian node pada lazy wave, segmen 1 (kiri) segmen 2 (kanan).

4. KESIMPULAN

Hasil dari pembahasan dan analisa yang telah dilakukan ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan bentuk, panjang dan faktor lingkungan, tegangan von mises pada *Free Hanging Catenary* sangat besar dan melampaui tegangan ijin yaitu sebesar 261,500 Mpa sedangkan tegangan ijin pada kasus ini sebesar 103,4 Mpa. Maka *Free*

hanging catenary tidak di anjurkan untuk kasus ini.

2. Hasil perhitungan kedua yaitu menggunakan model lazy wave, dan pada model ini dihasilkan tegangan von mises sebesar 2648 kPa dan hasil ini telah memenuhi atau berada di bawah nilai tegangan ijin sebesar 103,4 Mpa. jadi konfigurasi yang cocok adalah Lazy Wave.
3. Hasil perhitungan manual dengan hasil dari program orcaflex terlihat terdapat perbedaan yang cukup besar. Hal ini dikarenakan program orcaflex mempunyai kemampuan melakukan iterasi untuk mendapatkan bentuk *catenary* yang paling ideal berdasarkan data-data input, dan data lingkungan. Pada orcaflex juga di analisa secara dinamis yang mengutamakan factor lingkungan, sedangkan perhitungan manual tidak mengutamakan data lingkungan atau ahanya perhitungan statis. Dalam perhitungan manual ini dibagi sebanyak 15 segmen pada riser sepanjang 150 m.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. American Petroleum Institute. (2008). *Spesification for Unbonded Flexible Pipe*. America: American Petroleum Institute.
2. Associates, T. J. (2004). *Offshore Pipeline Construction*. England.
3. Chamsudi, A. (2005). *Piping Stress Analysis*. Jakarta: Rekayasa Industry.
4. Guo, B. (2005). *Offshore Pipeline*. Elsevier.
5. Indonesia, U. (2009). DESAIN CATENARY RISER PADA FPSO. 55-78.
6. Li, H. (2012). *Flexible Pipe Stress and Fatigue Analysis*. Norwegian University of Science and Technology.
7. Li, M. (2015). Dynamic Stress due to End Effects in Non-bonded Flexible Pipes.
8. Weidong, R., & Bai, Y. (2016). Ocean Engineering. In *Ocean Engineering* (pp. 583-596). College of Civil Engineering and Architecture Zheijang University.