

Analisis Dan Desain Bentang Bebas Pipa Bawah Laut Dengan Perangkat Lunak ABAQUS

Analysis and Design of Subsea Pipelines Free Span by ABAQUS Software

Mohammad Randal Tarigan¹ dan Rildova²

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB, Bandung

email: randal.tarigan@yahoo.com dan rildova@ocean.itb.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan pipa penyalur sebagai struktur pengangkutan minyak dan gas bumi membutuhkan perhitungan desain yang baik. Terlebih, jika struktur pipa penyalur akan ditaruh di dasar laut. Gaya apung di dasar laut akan menimbulkan gaya angkat pada pipa penyalur dan menyebabkan kerusakan pipa penyalur. Oleh karena itu, perlu dilakukan penambahan tebal selimut beton untuk menambah berat pipa di dasar laut. Analisis kestabilan pipa di dasar laut (*on-bottom stability*) berdasarkan penambahan selimut beton dapat dihitung dengan kode acuan DNV RP E305. Selain gaya apung, perletakan pipa penyalur di dasar laut akan menyebabkan pipa penyalur bertemu dengan kontur tidak rata dasar laut dimana hal ini dapat menyebabkan terjadinya bentang bebas (*free span*). Kondisi bentang bebas pada pipa penyalur dapat menyebabkan kegagalan desain struktur dikarenakan pembebanan dinamik dan statik yang terjadi. Oleh karena itu, dibutuhkan analisis dan desain bentang bebas sebelum pipa digelar di dasar laut. Analisis panjang bentang bebas izin dapat ditentukan dengan acuan kode DNV RP F105 dan hasilnya dibandingkan dengan pemodelan menggunakan perangkat lunak ABAQUS, Hasil pemodelan memberikan 4 zona bentang bebas yang melebihi batas izin pada kondisi Instalasi dan Operasi. Panjang bentang bebas dapat dikurangi dengan cara melakukan trenching dan menaruh support.

Kata kunci : pipa penyalur, *on-bottom stability*, *free span*, ABAQUS, intervensi bentang bebas.

PENDAHULUAN

Penggunaan pipa penyalur sebagai struktur pengangkutan minyak dan gas bumi membutuhkan perhitungan desain yang baik. Terlebih, jika struktur pipa penyalur akan ditaruh di dasar laut sebagai struktur pengangkut minyak baik antar platform di laut maupun dari platform ke daratan. Pada kondisi tersebut, pipa bawah laut akan ditaruh di dasar laut yang memiliki kontur tidak rata dan dapat menyebabkan terjadinya bentang bebas (*free span*). Perhitungan bentang bebas dibagi ke dalam dua jenis, yaitu bentang bebas static dan bentang bebas dinamik.

Tujuan dari penulisan laporan tugas akhir ini adalah :

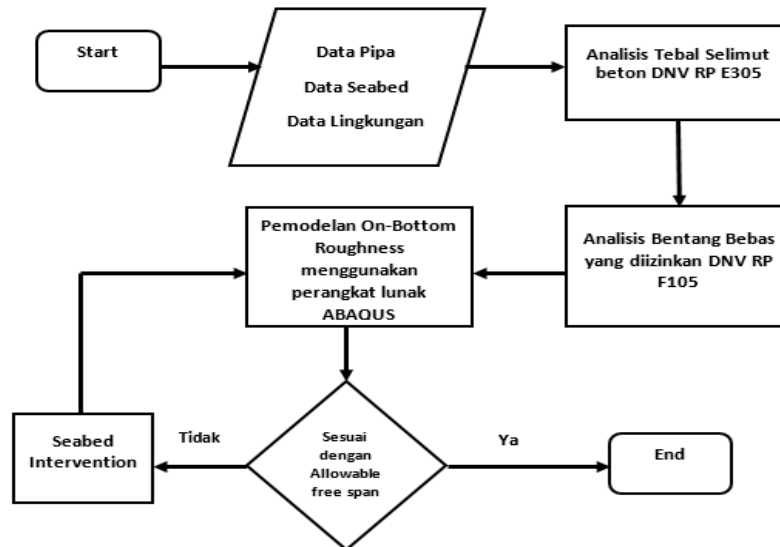
1. Menentukan tebal selimut beton (*concrete coating*).
2. Menentukan panjang bentang bebas yang diizinkan (*allowable free span*).
3. Membuat model bentang bebas (*predicted free span*).
4. Membandingkan hasil pemodelan estimasi bentang bebas (*predicted free span*) yang nilai bentang bebas yang diizinkan (*allowable free span*).
5. Menemukan solusi jika ditemukan nilai yang tidak sesuai diantara kedua hasil perhitungan tersebut.

¹Mahasiswa Tuga Akhir

²Dosen Pembimbing

TEORI DAN METODOLOGI

Metode pengerjaan untuk mendesain bentang bebas ditunjukkan oleh Gambar 1

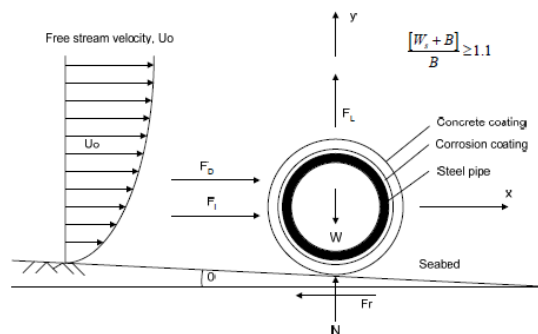


Gambar 1 Metode Mendesain Bentang Bebas

Kestabilan Pipa di Dasar Laut (On Bottom Stability)

Salah satu aspek yang harus diperhitungkan dalam mendesain pipa bawah laut adalah kestabilan pipa saat diletakkan di dasar laut. Analisis yang memperhitungkan kestabilan pipa setelah diletakkan di dasar laut disebut dengan *On-Bottom Stability Analysis*. Kriteria desain *on-bottom stability* terdapat pada kode DNV RP E305 dan DNV OS F101.

Tugas akhir ini menggunakan metode analisis *simplified stability*, metode ini memperhitungkan kestabilan pada arah vertikal maupun pada arah lateral. Gaya-gaya lingkungan yang bekerja pada pipa bawah laut akibat gelombang dan arus disebut dengan gaya hidrodinamika. Gaya hidrodinamika terdiri atas beberapa gaya yaitu gaya seret (*drag*), gaya inersia, serta gaya angkat (*lift*). Gaya seret dan gaya inersia bekerja secara lateral pada pipa penyalur, sedangkan gaya angkat bekerja secara vertikal. Gaya-gaya yang bekerja pada pipa penyalur tercantum dalam Gambar 2



Gambar 2 Simplified Stability Analysis

Kestabilan Vertikal

Pada arah vertikal, gaya hidrodinamika yang bekerja adalah gaya apung. Parameter stabilitas pipa penyalur di dasar laut berdasarkan kode DNV RP E305 adalah dengan cara membandingkan berat pipa terendam dengan gaya apungnya atau biasa disebut dengan parameter *specific gravity* (SG). Jika nilai *specific gravity* bernilai lebih besar dari 1.1, maka pipa dinyatakan stabil secara vertikal di dasar laut. Persamaan 1 menunjukkan parameter kestabilan vertikal berdasarkan DNV RP E305.

$$SG(t_{cc}) \geq 1.1 \quad (1)$$

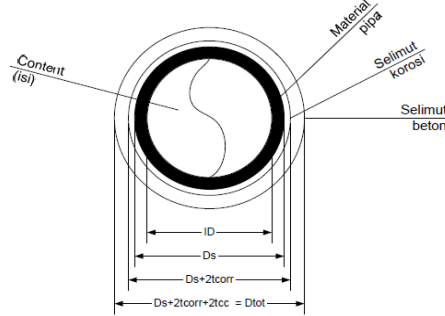
Dimana :

$$SG(t_{cc}) = \frac{W(t_{cc}) + B(t_{cc})}{B(t_{cc})}$$

$B(t_{cc})$ = Gaya Apung

$$B(t_{cc}) = \frac{\pi D_{tot}^2 \rho_{SW}}{4}$$

Berat pipa terendam dapat ditentukan berdasarkan beberapa properti pipa. Potongan melintang pipa tercantum dalam Gambar 3



Gambar 3. Potongan Melintang pipa

Untuk menghitung berat pipa tenggelam dapat digunakan persamaan 2

$$W(t_{cc}) = W_{st} + W_{corr} + W_{cc} + W_{cont} - B(t_{cc}) \quad (2)$$

Dimana

$$\text{Berat pipa baja, } W_{st} = \frac{\pi(D_s^2 - ID^2)\rho_s}{4}$$

$$\text{Berat lapisan korosi, } W_{corr} = \frac{\pi(D_{corr}^2 - D_s^2)\rho_{corr}}{4}$$

$$\text{Berat lapisan beton, } W_{cc} = \frac{\pi(D_{tot}^2 - D_{corr}^2)\rho_{cc}}{4}$$

$$\text{Berat konten, } W_{cont} = \frac{\pi ID^2 \rho_{cont}}{4}$$

Kestabilan Lateral

Pipa yang terletak di atas *seabed* juga akan terpengaruh gaya-gaya hidrodinamika arah lateral akibat pengaruh lingkungan, seperti gaya seret (*drag*), gaya inersia, dan gaya angkat (*lift force*). Berdasarkan kode DNV RP E305 tentang *on-bottom stability*, pipa penyalur dikatakan stabil secara lateral jika memenuhi persamaan 3.

$$\frac{W(t_{cc})}{W_{req}} \geq 1 \quad (3)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} W(t_{cc}) &= \text{berat terendam pipa} \\ &= W(t_{cc}) = W_{st} + W_{corr} + W_{cc} + W_{cont} - B(t_{cc}) \\ W_{req} &= \max(W_s(\theta, t_{cc})) \end{aligned}$$

Adapun variabel ($W_s(\theta, t_{cc})$) dalam persamaan 2.11 adalah besar resultan dari gaya-gaya hidrodinamika yang terjadi pada pipa dalam arah lateral. Besar variabel ($W_s(\theta, t_{cc})$) dapat ditentukan menggunakan persamaan 4 berikut:

$$W_s(\theta) = \left[\frac{(F_D(\theta, t_{cc}) + F_I(\theta, t_{cc})) + \mu F_L(\theta, t_{cc})}{\mu} \right] F_w \quad (4)$$

Dimana :

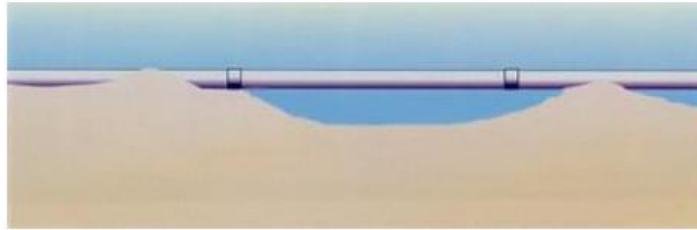
$$\begin{aligned} F_L(\theta) &= \text{Gaya angkat pada sudut fase } \theta \\ F_L(\theta) &= \frac{1}{2} \frac{\rho_{SW}}{g} D_{tot} C_L (U_s \cos \theta + U_D)^2 \\ F_D(\theta) &= \text{Gaya drag pada sudut fase } \theta \\ F_D(\theta) &= \frac{1}{2} \frac{\rho_{SW}}{g} D_{tot} C_D (U_s \cos \theta + U_D)^2 \\ F_I(\theta) &= \text{Gaya inersia pada sudut fase } \theta \end{aligned}$$

$$F_I(\theta) = \frac{\pi D_{tot}^2 \rho_{SW}}{4g} C_M A_s \sin \theta$$

θ = sudut fase dari gaya hidrodinamik dalam gelombang
 F_w = koefisien kalibrasi

Bentang Bebas (Free Span)

Bentang bebas disebabkan oleh tidak bertemunya kontur dasar laut dengan jalur pipa yang telah digelar. Pada kondisi tersebut, beberapa bagian jaringan pipa bawah laut yang telah digelar akan menggantung mengalami pembebanan secara statik dan dinamik. Statik terjadi akibat momen lentur pada pipa. Sementara pembebanan dinamik disebabkan oleh aliran arus di sekitar pipa yang menimbulkan fenomena *vortex shedding* dan menyebabkan getaran/osilasi pada pipa penyalur bawah laut. Ilustrasi free span tercantum dalam Gambar 5



Gambar 5. Ilustrasi Free span

Bentang Bebas Statik

Momen lentur pada pipa akan menyebabkan pembebanan statik berupa tegangan lentur. Mengacu pada kode ASME B31.8 (part 2.4, *equivalent stress criterion*), batas tegangan lentur izin yang dapat diterima oleh pipa penyalur dapat dihitung berdasarkan sebuah tegangan ekuivalen Von Mises, dengan kriteria desain yang tercantum dalam persamaan 5.

$$\sigma_e \leq \eta_s \cdot SMYS \quad (5)$$

Dimana :

σ_e = tegangan ekuivalen/Von Mises

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_L^2} - \sigma_h \cdot \sigma_L$$

σ_h = tegangan hoop

σ_L = tegangan longitudinal

η_s = safety factor, bernilai 0.9

Tegangan Longitudinal

Pada kondisi bentang bebas, pipa penyalur akan dikenakan 2 jenis gaya yaitu berat pipa sendiri dan gaya hidrodinamika yang disebabkan oleh lingkungan. Kedua pembebanan tersebut akan menimbulkan tegangan longitudinal pada pipa penyalur. Tegangan ini disebabkan oleh momen lentur yang bekerja pada pipa seperti tercantum dalam persamaan 6

$$\sigma_L = \frac{M \cdot y}{I} \quad (6)$$

Dimana

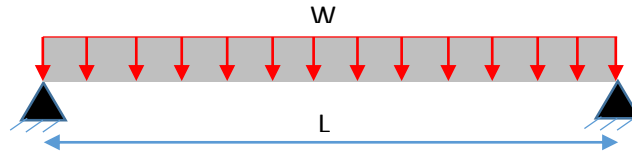
σ_L = tegangan lentur

M = momen lentur

y = jarak dari sumbu netral ke titik yang ditinjau terjauh

I = Inersia Penampang

Untuk menghitung momen lentur yang terjadi pada pipa, kita dapat memisalkan pipa penyalur sebagai struktur balok sederhana sepanjang L yang berdiri di atas 2 tumpuan *pinned-pinned*. Seperti ditunjukkan Gambar 7



Gambar 7 Pipa Pada dua tumpuan

Beban merata W adalah beban yang dikenakan pada pipa penyalur yang terdiri berat pipa sendiri dan gaya hidrodinamika yang disebabkan oleh efek lingkungan seperti ditunjukkan persamaan 7

$$W = \sqrt{W_s^2 + (F_D + F_I)^2} \quad (7)$$

Dimana :

W =Beban merata pada pipa

W_s =Berat pipa sendiri

F_D =Gaya drag pada pipa

F_I =Gaya inersia pada pipa

Besar gaya drag dan gaya inersia dapat dihitung menggunakan persamaan 8 dan 9

$$F_I(\theta) = \frac{\pi D_{tot}^2 \rho_{sw}}{4g} C_M A_s \sin \theta \quad (8)$$

$$F_D(\theta) = \frac{1}{2} \frac{\rho_{sw}}{g} D_{tot} C_D (U_s \cos \theta + U_D)^2 \quad (9)$$

Dimana :

C_D =Koefisien Drag

ρ_{sw} =massa jenis air laut

D_t =tebaldinding pipa

U_s =Kecepatan arus arah horizontal

U_D =kecepatan Partikel air

C_I =koefisien inersia

θ =Sudut fasa gelombang

Tegangan longitudinal maksimum pada pipa terjadi pada ujung penampang pipa. Sehingga untuk mendapatkan besar tegangan longitudinal maksimum pada pipa kita dapat mensubstitusi besar darisetengah diameter pipa sebagai jarak dari sumbu netral ke titik yang ditinjau (y) seperti ditunjukkan persamaan 10

$$\begin{aligned} \sigma_L &= \frac{M \cdot y}{I} \\ \sigma_{Lmax} &= \frac{M_{max}}{I} \cdot \frac{D}{2} \\ \sigma_{Lmax} &= \frac{W \cdot L^2}{8 \cdot I} \cdot \frac{D}{2} \end{aligned} \quad (10)$$

Dimana :

σ_{Lmax} = Tegangan Longitudinal maksimum

L = Panjang Pipa

I = Inersia penampang Pipa

D = Diameter Pipa

Bentang Bebas Dinamik

Analisi bentang bebas dinamik perlu dilakukan untuk mengetahui efek aliran vortex yang terjadi pada jaringan pipa penyalur. Aliran vortex akan membuat getaran osilasi di bagian belakang pipa penyalur yang mempunyai besar frekuensi tertentu yang disebut dengan frekuensi *vortex shedding*. Frekuensi natural pipa tidak boleh bernilai sama dengan frekuensi natural vortex shedding. Jika frekuensi tersebut bernilai sama, maka akan terjadi osilasi bernilai maksimum yang disebut dengan resonansi. Frekuensi natural pipa dapat ditentukan dengan persamaan 11

$$f_1 \approx C_1 \cdot \sqrt{1 + CSF} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m_e \cdot L_{eff}^4} \cdot \left(1 + \frac{S_{eff}}{P_{cr}} + C_3 \left(\frac{\delta}{D}\right)\right)^2} \quad (11)$$

Dimana

$C1 - C3$ = koefisien kondisi perletakan

E_{steel} = modulus Young material

I_{steel} = momen inersia material

CSF = faktor kekakuan dari beton

m_e = massa efektif pipa

D = diameter terluar pipa

P_{cr} = beban *critical bucklin*, dihitung berdasarkan persamaan 12

$$P_{cr} = \frac{(1+CSF) \cdot C_2 \cdot \pi^2 \cdot EI}{L_{eff}^2} \quad (12)$$

L_{eff} = panjang *span* efektif

δ_{IL} = defleksi statik arah *in-line*

δ_{CF} = defleksi statik arah *cross flow*

S_{eff} = gaya aksial efektif

Kode acuan DNV RP F105 menyatakan bahwa pipa penyalur harus melalui kriteria screening fatigue untuk dinyatakan aman. Frekuensi natural pada kriteria tersebut tidak boleh melebihi faktor keamanan tertentu seperti ditunjukkan persamaan 13 dan 14

$$\frac{f_{n,IL}}{\gamma_{IL}} > \frac{U_{c,100 \text{ year}}}{V_{R,onset}^{IL} \cdot D} \cdot \left(1 - \frac{L/D}{250}\right) \cdot \frac{1}{\bar{\alpha}} \quad (13)$$

$$\frac{f_{n,CF}}{\gamma_{CF}} > \frac{U_{c,100 \text{ year}} + U_{w,1 \text{ year}}}{V_{R,onset}^{CF} \cdot D} \quad (14)$$

Dimana :

γ_{IL} =Faktor screening In-line = 1.4

γ_{CF} =Faktor screening In-line = 1.4

$\bar{\alpha}$ =Ratio aliran arus

$$\bar{\alpha} = \frac{U_{c,100 \text{ year}}}{U_{w,1 \text{ year}} + U_{c,100 \text{ year}}} \geq 0.6$$

D = Diameter pipa (incl. Coating)

L =Panjang bentang bebas

$U_{c,100 \text{ year}}$ =Kecepatan arus 100 tahunan

$U_{w,1 \text{ year}}$ =Kecepatan partikel gelombang 1 tahunan

$V_{R,onset}^{IL}$ =In-line onset value for the reduced velocity

$V_{R,onset}^{CF}$ =Cross-flow onset value for the reduced velocity

HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Perhitungan tebal concrete coating berdasarkan kode DNV RP E305 menghasilkan tebal concrete coating sebesar 25 mm pada kondisi instalasi dan operasi. Hasil perhitungan selimut beton tercantum dalam Tabel 1

Tabel 1 Hasil Perhitungan Concrete Coating

No	Kondisi	Tebal Concrete Coating	Unit
1	Instalasi	25	mm
2	Flooded	1	mm
3	Hydrotest	1	mm
4	Operasi	25	mm

Perhitungan panjang bentang bebas menghasilkan bentang bebas izin sebesar 28 m pada kondisi hydrotest. Panjang bentang bebas tersebut didapatkan melalui perhitungan bentang bebas dinamik berdasarkan kode DnV RP F105. Hasil perhitungan bentang bebas tercantum dalam Tabel 2

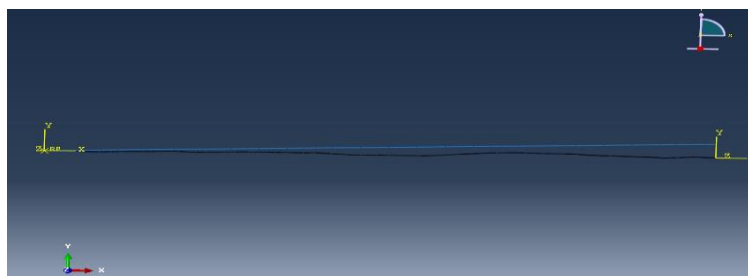
Tabel 2 Perhitungan Free Span

Condition	Lstat (m)	Ldyn (m)
Installation	87.188	29
Flooded	64.205	30
Hydrotest	64.205	28
Operating	85.749	31

Setelah mengetahui panjang bentang bebas izin maka akan dilakukan pemodelan pipa penyalur dengan memperhitungkan interaksinya dengan tanah.

PEMODELAN BENTANG BEBAS

Pemodelan dilakukan menyerupai proses *laying* pipa penyalur. Dikarenakan profil dasar laut yang tidak rata dan sifat material pipa baja, maka pipa akan membentuk bentang bebas (free span) di dasar laut. Pemodelan menggunakan perangkat lunak ABAQUS seperti tercantum dalam Gambar 9



Gambar 9 Pemodelan Bentang Bebas

Garis besar pemodelan On bottom Roughness menggunakan perangkat lunak ABAQUS terbagi menjadi 3 yaitu pemodelan pipa dan dasar laut, pemodelan interaksi serta menentukan step/langkah dalam analisis.

PEMODELAN PIPA

Pipa dimodelkan dengan jenis part deformable dan memiliki bentuk *wire* dalam tugas akhir ini. Konsekuensi yang timbul adalah pemodelan *concrete coating* akan diinput sebagai *non-structural mass*. Setelah memodelkan bentuk pipa, maka perlu didefinisikan material pipa. Input property pipa tercantum dalam tabel 3 berikut

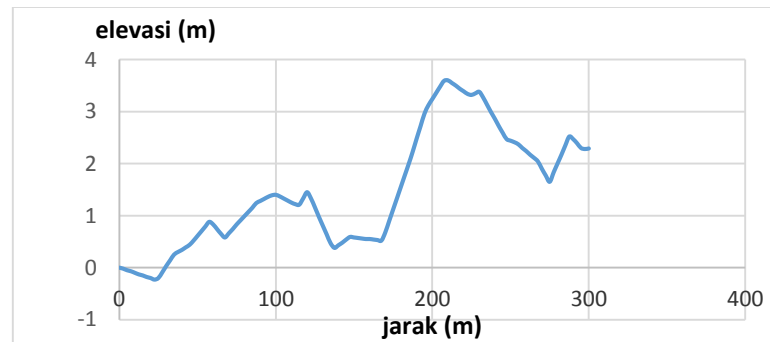
Tabel 3 Input Pipa

No	Input	Unit	Keterangan
1	Diameter Luar Pipa	406	mm
2	Tebal Pipa	12	mm
3	Massa Concrete Coating	105	kg/m
4	Massa Corrossion Coating	9	kg/m
5	Massa Jenis Pipa Baja	3040	kg/m ³
6	SMYS	415	Mpa
7	Modulus Young	201799	Gpa
8	Poisson's Ratio	0.3	-
9	Massa Konten Air Laut	117.47	kg/m
10	Massa Konten gas	4.77	kg/m
11	Input Bouyancy	176.32	kg/m

Setelah diinput property, maka perlu didefinisikan elemen yang akan digunakan pipa dimodelkan dengan jenis element batang PIPE31H. Elemen PIPE31H mengasumsikan jika profil penampang pipa akan bersifat hollow. Elemen tersebut memiliki 2 nodes pada tiap ujungnya dan memiliki kelebihan dapat diinput tekanan di dalam pipa dan mengakomodasi sifat tegangan ekuivalen Von Mises.

PEMODELAN DASAR LAUT

Dasar laut dimodelkan sepanjang 300 m, profil dasar laut yang dipilih adalah profil dasar laut yang cukup ekstrem agar dapat merepresentasikan terjadinya bentang bebas pada pipa. Profil dasar laut tercantum dalam Gambar 10



Gambar 10 Profil Dasar Laut

Untuk memodelkan dasar laut dapat digunakan jenis part analytical rigid, hal tersebut dilakukan karena jenis part analytical rigid lebih mudah mengakomodasi part yang terdiri dari beberapa garis, hal tersebut cocok untuk memodelkan dasar laut yang tidak rata.

PEMODELAN INTERAKSI

Pemodelan interaksi dalam perangkat lunak ABAQUS akan membagi part menjadi dua peranan berbeda yaitu slave dan master surface. Pipa diperankan sebagai slave surface dan dasar laut sebagai master surface. Interaksi dalam perangkat lunak ABAQUS adalah interaksi antar node pada slave dengan surface pada master surface.

Perilaku antar node-surface tersebut dapat diatur dalam menu “interaction properties”. Dalam menu “interaction properties” pemodelan interaksi antara pipa dan tanah dapat dibentuk menggunakan 3 jenis sifat yaitu tangential behaviour, normal behaviour dan geometric propeties.

Tangential Behaviour akan mendefinisikan sifat koefisien friksi antara pipa dan tanah. Dalam kode DNV RP F105 koefisien friksi antara pipa dan tanah jenis clay bernilai 0.2

Normal Behaviour menentukan sifat kontak yang terjadi antar nodes dalam slave dengan surface pada master surface. Sifat ini menghubungkan antara gaya reaksi vertical di atas tanah dengan besar penetrasi ke dalam tanah. Sifat ini tercantum dalam kode DNV RP F105 seperti tercantum dalam persamaan 14 berikut

$$R_v = N_c \cdot s_u \cdot B + A_p \cdot \gamma_{soil'} \quad (14)$$

Dimana :

R_v = Vertical soil reaction per unit length

v = Vertical penetration

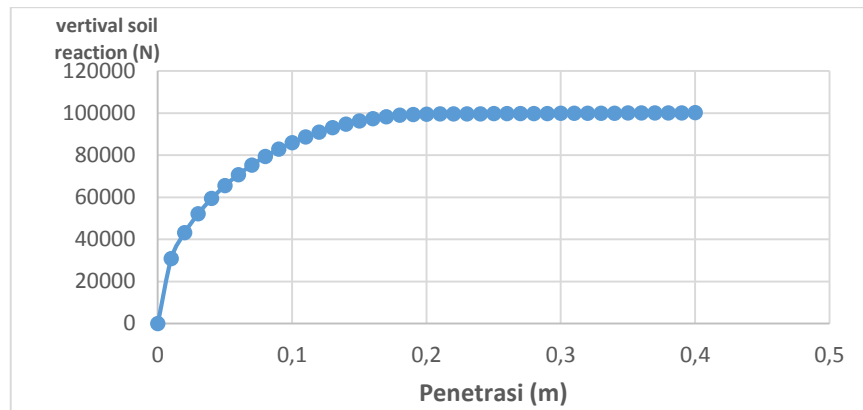
$\gamma_{soil'}$ = Submerged unit weight of soil

N_c = Bearing Capacity Factor

s_u = Undrained shear strength

A_p = Cross-sectional area of penetrated of pipe

Penetrasi ke dalam tanah (v) dihitung dengan rentang kondisi pipa tidak menembus sama sekali ($v = 0$) hingga pipa menembus tanah seluruhnya ($v = D$) seperti tercantum dalam Gambar 11



Gambar 11. Grafik Hubungan Penetrasi dan reaksi vertikal

Geometric properties, dengan menambahkan sifat ini maka ABAQUS akan menganggap bahwa dasar laut akan memiliki tebal tanah. Dalam pengerjaan tugas akhir ini tebal tanah dasar laut dimodelkan 1m.

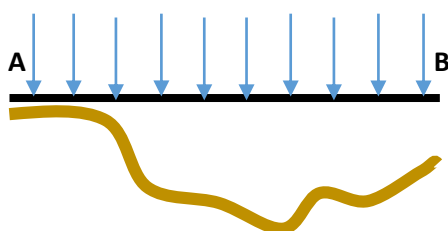
STEP ANALISIS

Pendekatan pemodelan akan dilakukan dalam kondisi laying. Pipa penyalur akan diberi tumpuan pinned pada ujung awalnya, setelah pipa penyalur selesai dilaying maka pipa penyalur akan diberi tumpuan pinned pada ujung lainnya dan kemudian diberi tekanan internal pipa seperti tercantum dalam tabel 4

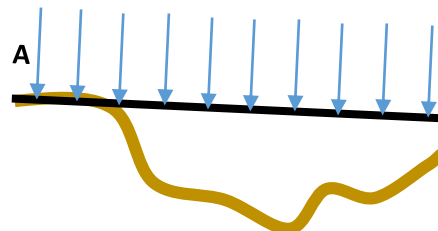
Tabel 4 Step Analisis

No	Step	Tumpuan A	Tumpuan B
1	Input Boundary condition pada kedua ujung pipa	Pinned	Pinned
	Input Gravity & Bouyancy	Pinned	Pinned
2	Diactivate tumpuan B	Pinned	-
3	Input tumpuan B setelah titik B terletak di dasar laut	Pinned	Pinned
4	Input Pressure Flooded	Pinned	Pinned
	Input Pressure Hydrotest		
	Input Pressure Gas Pressure		

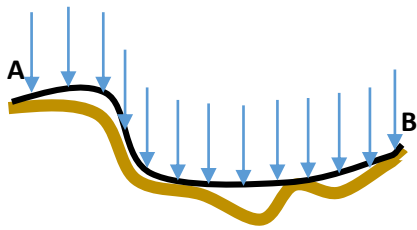
Simulasi step pada proses laying pipa penyalur



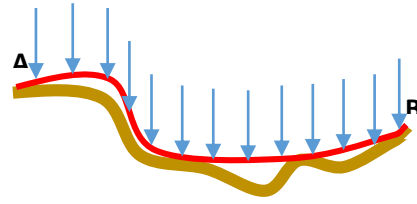
Gambar 12. Step 1



Gambar 13. Step 2



Gambar 14. Step 3



Gambar 15. Step 4

Berikut langkah-langkah pengerjaan dalam ABAQUS untuk melakukan proses laying

- 1. Partisi pipa** ntuk melakukan proses laying, maka pipa perlu dipartisi terlebih dahulu agar memberikan hasil yang smooth/presisi. Pada pengerjaan tugas akhir ini, pipa dimodelkan 300 m dan dipartisi setiap 2.5 m
- 2. Pemberian Boundary Condition dan Load**, elemen pipa yang mempunyai dua nodes, akan diberikan boundary condition pada kedua ujungnya berupa fixed-fixed dan Load berupa gravity. Pemberian boundary condition dan gravity diberikan pada semua partisi pipa
- 3. Laying**, Pada elemen partisi, tumpuan A dilepas terlebih dahulu agar pipa dapat menyentuh tanah. Sementara tumpuan B tetap dipasang tumpuan. Step ini dilakukan repetitif di setiap partisi pipa hingga pemodelan pembebanan mencapai ujung pipa

HASIL PEMODELAN DAN PEMBAHASAN

Untuk menentukan panjang bentang bebas, ABAQUS memiliki fitur Contact Pressure (CPRESS). Fitur ini dapat menentukan nodes pada pipa penyalur man yang menyentuh permukaan dasar laut, sehingga dapat diasumsikan jarak antara nodes satu dengan lainnya yang berkenaan dengan dasar laut merupakan panjang bentang bebas. Tabel 5 menunjukkan panjang bentang bebas yang didapatkan dari pemodelan.

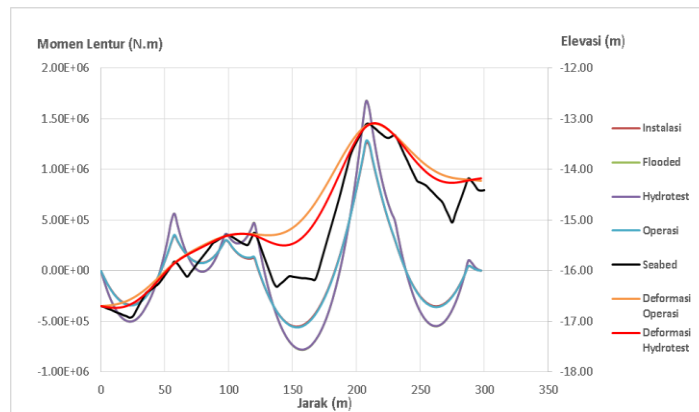
Tabel 5 Konfigurasi Bentang Bebas

No	Kondisi Instalasi & Operasi		Panjang Bentang Bebas (m)	Bentang Bebas Izin (m)	Keterangan
	Koordinat A	Koordinat B			
1	0	57.5	57.5	28	Tidak Sesuai
2	57.5	97.5	40	28	Tidak Sesuai
3	100	120	20	28	Sesuai
4	120	207.5	87.5	28	Tidak Sesuai
5	210	230	20	28	Sesuai
6	230	287.5	57.5	28	Tidak Sesuai

Berdasarkan hasil pemodelan, maka didapatkan 4 rentang bentang bebas yang tidak sesuai dengan bentang bebas izin sebesar 28 m, maka akan dilakukan trenching pada dasar laut.

Trenching

Trenching adalah kegiatan intervensi bentang bebas dengan cara memotong permukaan dasar laut yang bertujuan untuk mengurangi ketidakseragaman permukaan dasar laut. Untuk menentukan konfigurasi trenching, dapat dilakukan pendekatan dengan analisis tegangan. Bentang bebas yang panjang pada pipa penyalur akan menghasilkan besar tegangan longitudinal yang besar karena memiliki momen lentur yang besar pula seperti tercantum dalam Gambar 16

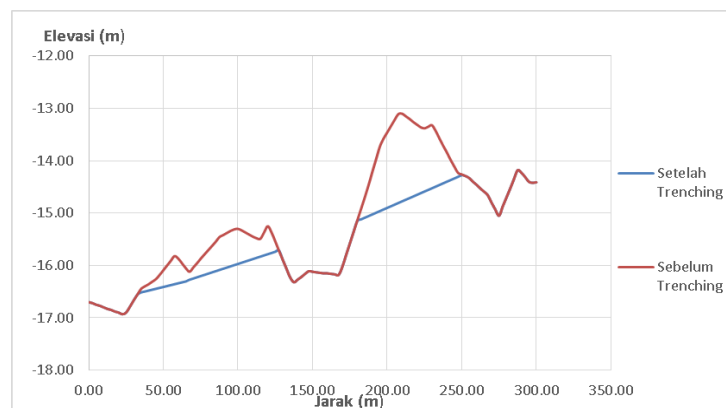


Gambar 16. Momen Lentur

Berdasarkan data-data di atas, maka perlu dilakukan trenching di beberapa titik dengan batasan kedalaman trenching sebesar 3 m yang merupakan spesifikasi alat yang digunakan. Konfigurasi trenching tercantum dalam poin 1 hingga 5 berikut:

1. Koordinat 35 m hingga 65 m
2. Koordinat 67.5 m hingga 127.5 m
3. Koordinat 180 m hingga 250 m

Profil dasar laut setelah trenching tercantum dalam Gambar 17



Gambar 17 Profil dasar laut setelah trenching

Setelah mengalami proses trenching, maka deformasi pipa dan konfigurasi bentang bebas berubah. Secara keseluruhan, jumlah bentang bebas yang melewati izin berhasil dikurangi menjadi 3 zona bentang bebas yang sebelumnya terdiri dari 4 zona bentang bebas yang melewati batas izin seperti tercantum dalam 6

Tabel 6 Konfigurasi Bentang Bebas Stelah Trenching

No	Kondisi Instalasi & Operasi		Panjang Bentang Bebas (m)	Bentang Bebas Izin (m)	Keterangan
	Koordinat A	Koordinat B			
1	0	35	35	28	Tidak Sesuai
2	40	47.5	7.5	28	Sesuai
3	55	67.5	12.5	28	Sesuai
4	100	125	25	28	Sesuai
5	127.5	180	52.5	28	Tidak Sesuai
6	182.5	207.5	25	28	Sesuai
7	220	250	30	28	Tidak Sesuai
8	250	287.5	37.5	28	Tidak Sesuai

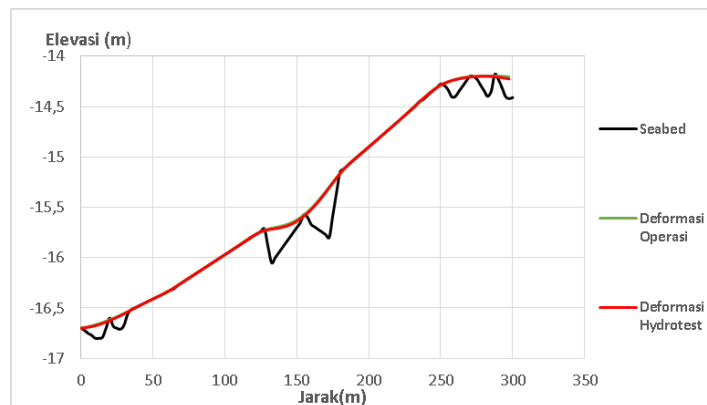
Support

Pemberian support perlu dilakukan untuk menanggulangi bentang bebas yang terjadi pada zona cekung dasar laut atau disebut palung. Dikarenakan intervensi bentang bebas berupa trenching telah melewati kapasitas alat maka pemberian support akan dilakukan. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, support dimodelkan sebagai tumpukan tanah yang memiliki karakteristik sama dengan dasar laut.

Deformasi pipa setelah dilakukan trenching masih menyisakan 4 zona bentang bebas seperti tercantum dalam Tabel 6 sebelumnya. Oleh karena itu akan ditaruh tumpuan pada koordinat-koordinat berikut

1. Koordinat 12.5 m hingga koordinat 27.5 m
2. Koordinat 132.5 m hingga koordinat 170 m
3. Koordinat 232.5 hingga kordinat 235 m
4. Koordinat 260 m hingga 282.5 m

Ketiga koordinat tersebut merupakan koordinat yang memiliki deformasi paling besar pada zonanya masing-masing. Setelah diberikan tumpuan, maka deformasi pipa turut berubah. Deformasi pipa setelah diberikan tumpuan tercantum dalam Gambar 18



Gambar 18 Bentang Bebas Setelah Diberi Support

Setelah diberikan support, maka panjang bentang bebas telah berkurang dan sesuai dengan batas izin seperti tercantum dalam Tabel 7

Tabel 7 Konfigurasi Bentang Bebas setelah diberi Support

No	Koordinat A	Koordinat B	Panjang Bentang Bebas (m)	Bentang Bebas Izin (m)	Keterangan
1	0	20	20	28	Sesuai
2	20	35	15	28	Sesuai
3	55	67.5	12.5	28	Sesuai
4	100	125	25	28	Sesuai
5	127.5	155	27.5	28	Sesuai
6	155	180	25	28	Sesuai
7	182.5	207.5	25	28	Sesuai
8	220	235	15	28	Sesuai
9	235	250	15	28	Sesuai
10	250	270	20	28	Sesuai
11	270	287.5	17.5	28	Sesuai

CEK KRITERIA

Berdasarkan kode DNV, terdapat dua kriteria yang perlu di cek yaitu tegangan ekuivalen berdasarkan DNV 1981 serta kriteria Combined Loading berdasarkan DNV OS F101

Tegangan Ekuivalen

Mengacu pada kode DNV 1981, batas tegangan ekuivalen (von mises) maksimum yang boleh terjadi pada pipa adalah 72% SMYS atau sebesar 298.8 Mpa. Sedangkan hasil pemodelan menunjukkan tegangan ekuivalen maksimum sebesar 21.64 % SMYS yaitu sebesar 89.8 Mpa.

Combined Loading

Mengacu pada kode DNV OS F101, DNV menentukan kriteria yang harus dipenuhi pipa penyalur jika dikenakan pembebanan tertentu. Kriteria tersebut terbagi menjadi 2 yakni internal overpressure dan eksternal overpressure. Kondisi instalasi akan menjadi acuan untuk menghitung menggunakan persamaan eksternal overpressure yang tercantum dalam persamaan 15, sedangkan kondisi hydrotest akan menjadi acuan untuk dihitung menggunakan persamaan internal overpressure yang tercantum dalam persamaan 16

$$\left\{ \gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot \frac{|M_{sd}|}{a_c \cdot M_p(t_2)} + \left\{ \frac{\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot S_{sd}(p_i)}{a_c \cdot S_p(t_2)} \right\}^2 \right\}^2 + \left(\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot \frac{p_e - p_{min}}{p_b(t_2) \cdot \frac{2}{\sqrt{3}}} \right)^2 \leq 1 \quad (\text{pers 15})$$

$$\left\{ \gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot \frac{|M_{sd}|}{a_c \cdot M_p(t_2)} + \left\{ \frac{\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot S_{sd}(p_i)}{a_c \cdot S_p(t_2)} \right\}^2 \right\}^2 + \left(\alpha_p \cdot \frac{p_i - p_e}{a_c \cdot p_b(t_2)} \right)^2 \leq 1 \quad (\text{pers 16})$$

Dimana :

- M_{sd} = momen lentur desain
- S_{sd} = Gaya efektif aksial desain
- P_i = Tekanan internal
- P_e = Tekanan eksternal
- f_y = tegangan leleh yang digunakan dalam desain
- S_p = tahanan gaya aksial plastis = $f_y \cdot \pi(D - t) \cdot t$
- M_p = tahanan momen plastis = $f_y \cdot \pi \cdot (D - t)^2 \cdot t$
- α_c = Parameter tegangan aliran
- α_p = faktor tekanan yang digunakan pada kriteria beban kombinasi
- γ_{sc} = safety class resistance factors
- γ_m = material resistance factor = 1.15

Nilai momen lentur maksimum adalah 329 kN.m untuk kondisi hydrotest dan 278 kN.m untuk kondisi instalasi. Sedangkan besar gaya aksial efektif adalah 980 kN untuk kondisi hydrotest dan 928 kN untuk kondisi Instalasi. Besar momen desain dan gaya aksial effective hasil pemodelan tercantum dalam Gambar 20 dan Gambar 21. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan 15 dan 16, maka kedua kondisi tersebut memenuhi kriteria ULS seperti ditunjukkan Tabel 8

Tabel 8 Hasil cek kriteria ULS

Cek ULS			
No	Kondisi	Nilai	Keterangan
1	Installation	0.168	Allowable
2	Hydrotest	0.223	Allowable

SIMPULAN Dan SARAN

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini, dapat diambil kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut :

1. Perhitungan tebal concrete coating berdasarkan kode DNV RP E305 menghasilkan tebal concrete coating sebesar 25 mm pada kondisi instalasi dan operasi. Pada kondisi instalasi disebabkan karena konten pipa kosong sehingga membutuhkan pemberat dengan jumlah besar, sementara itu dalam kondisi operasi concrete coating yang dibutuhkan yaitu setebal 25 mm pula. Hal ini disebabkan karena data lingkungan yang digunakan pada saat perhitungan adalah data lingkungan dengan perioda 100 tahunan.
2. Perhitungan panjang bentang bebas menghasilkan bentang bebas izin sebesar 28 m pada kondisi hydrotest. Panjang bentang bebas tersebut didapatkan melalui perhitungan bentang bebas dinamik berdasarkan kode DnV RP F105. Adapun hasil itu didapat karena perhitungan kondisi dinamik mencakup detail lebih banyak dan bersifat lebih konservatif dibandingkan dengan perhitungan statik.
3. Pemodelan bentang bebas memberikan 4 zona bentang bebas yang melebihi batas izin pada kondisi Instalasi dan Operasi. Panjang bentang bebas dapat dikurangi dengan cara melakukan trenching dengan batasan kedalaman 3 m pada koordinat 35 m hingga 65 m, 67.5 m hingga 127.5 m dan 180 m hingga 250 m. Setelah itu, zona panjang bentang bebas yang tetap melebihi bentang bebas izin dapat ditanggulangi dengan cara menaruh tumpuan berupa tanah dasar laut pada koordinat 12.5 m hingga koordinat 27.5 m, koordinat 132.5 m hingga koordinat 170 m, koordinat 232.5 hingga koordinat 235 m dan koordinat 260 m hingga 282.5 m.
4. Tegangan ekuivalen maksimum yang terjadi pada pipa penyalur tidak melewati batas tegangan berdasarkan kode DNV 1981 yaitu 96% SMYS, tegangan ekuivalen yang terjadi hanya sebesar 21.64 % SMYS yaitu sebesar 89.8 Mpa
5. Pemodelan bentang bebas memenuhi kriteria *combined loading* DNV OS F101, output pemodelan menghasilkan nilai factor combined loading sebesar 0.223 pada kondisi hydrotest dan 0.168 pada kondisi instalasi.

Saran

1. Untuk mendapatkan nilai tegangan yang lebih representatif pada pipa, dapat digunakan part solid dan dasar laut dimodelkan dalam bentuk ruang 3 dimensi. Pemodelan dasar laut dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak Fledermous atau Catia.
2. Untuk mendapatkan panjang bentang bebas yang lebih representatif, interaksi antara support dan tanah dapat ditentukan melalui analisis penurunan tanah terlebih dahulu.

Daftar Pustaka

1. Det Norske Veritas, OS F101: *Submarine Pipeline Systems*, Veritas, Oslo 2010
2. Det Norske Veritas, RP F105: *Free Spanning Pipelines*, Veritas, Oslo 2006
3. Det Norske Veritas, RP E305: *On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*, Veritas, Oslo 1988
4. Yong, Bai, *Pipelines and Risers*, Elsevier Ocean Engineering Book Series, Netherlands, 2001.
5. Leepipatpaiboon, Wittha (2010). An Appropriate FEA Modelling Technique For On-Bottom Roughness Analysis. Bangkok : Asian Institut Of Technology.
6. Moghaddam, Ali Shaghahi. Mohammadnia, Saeid. Mohammad, Sagharichiha (2015). Analysis Of Offshore Pipeline Laid On 3D Seabed Configuration by Abaqus. Takeztan : Islamic Azad University.
7. Mawarni, Rieska Putri (2013). Desain Offshore Pipeline Di Selat Madura. Bandung :Institut Teknologi Bandung.
8. <https://dyurindatama.wordpress.com/2013/02/10/2d-pipeline-bottom-roughness/>