

Analisis *On-Bottom Stability Offshore Pipeline* Pada Kondisi Operasi: Studi Kasus *Platform SP Menuju Platform B1C/B2c PT. Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java*

Asfarur Ridlwan, Imam Rochani, dan Hasan Ikhwani

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

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

Abstrak—Pipa bawah laut digunakan untuk transportasi fluida seperti minyak, gas, atau air dalam jumlah yang besar dan jarak yang jauh melalui laut atau daerah lepas pantai. Pada umumnya struktur pipa bawah laut dapat digelar diatas permukaan dasar laut atau dikubur dalam dasar laut (*buried*). Pada penelitian ini penulis telah melakukan analisis *on-bottom stability* pada kondisi operasi studi kasus pipa gas dari platform SP menuju platform B2C Cimalaya Jawa Barat milik PT. Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java. Analisis *on-bottom stability* pipa bawah laut diperhitungan untuk mengetahui apakah pipa stabil secara vertikal dan secara lateral didasar laut karena efek gaya-gaya hidrodinamika yang bekerja pada pipa. Besar gaya hidrodinamis arah horizontal gaya drag sebesar 145,49 N/m. Besar gaya hidrodinamis arah horizontal gaya inersia sebesar 0 N/m. Besar gaya hidrodinamis arah vertikal gaya angkat sebesar 167,67 N/m. Faktor keamanan stabilitas vertikal pipa adalah $4,1 \geq 1,1$. Faktor keamanan stabilitas lateral pipa adalah $1,6 \geq 1,1$. Sehingga hasil analisis *on-bottom stability* menunjukkan bahwa tebal minimum *concrete* adalah sebesar 33.

Kata Kunci—DNV RP F109, Gaya Morrison, *On-Bottom Stability Pipa Bawah Laut, Stabilitas Pipa.*

I. PENDAHULUAN

SALAH satu kekayaan sumber daya alam Indonesia adalah berupa minyak bumi dan gas alam. Proses produksi minyak bumi dan gas alam diperlukan suatu sarana transportasi untuk menyalurkan ke pusat pengelolaan yang ada. Dalam menyalurkan hasil pengeboran berupa minyak dan gas alam pada umumnya dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan pipa bawah laut (*subsea pipelines*) atau secara curah (misal: kapal, kargo). Pipa bawah laut (*pipelines*) merupakan salah satu cara yang aman, cepat, dan ekonomis dalam menyalurkan hasil pengeboran dari *offshore* dibanding pendistribusian dengan cara curah [1].

Penggunaan pipa bawah laut telah terbukti pada industri minyak dan gas karena cara ini merupakan cara yang paling ekonomis dalam pendistribusian fluida dalam skala yang besar dan kontinu. Selain itu pipa bawah laut juga tahan dalam kondisi lingkungan yang buruk [2]. Namun jika pipa bawah laut mengalami kegagalan akan sangat merugikan dari aspek ekonomi dan lingkungan sehingga diperlukannya berbagai

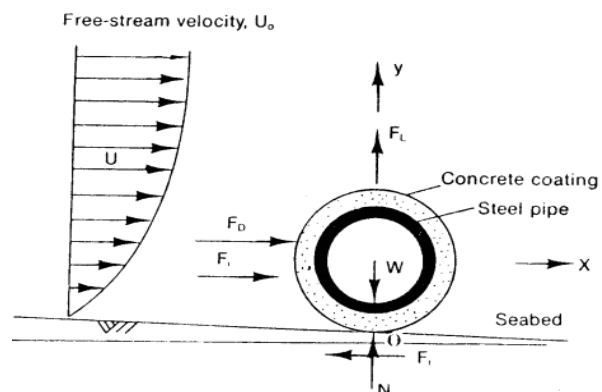
analisis pipa bawah laut [3]. Pada keadaan sebenarnya masalah utama yang dihadapi pipa bawah laut (*pipelines*) adalah stabilitas akibat pengaruh dari gaya-gaya hidrodinamika yang bekerja pada pipa. Pipa bawah laut dikatakan stabil apabila dapat menentukan berat minimum pipa di dasar laut [4].

Daerah studi pada penelitian ini berlokasi pada *latitude* $5^{\circ} 56' 21,363''$ S dan *longitude* $107^{\circ} 38' 55,027''$ E yang merupakan proyek gas dari *platform* SP ke *platform* B2C milik PT PHE ONWJ. Lebih tepatnya di daerah Cimalaya, Karawang, Jawa Barat. SP *platform* berlokasi di sekitar 10 km sebelah barat daya dari *platform* B2C, 7,5 km utara *platform* KCOM, dan 5,5 km barat daya *platform* BZZB.

II. DASAR TEORI

A. Gambaran Umum Stabilitas Pipa Bawah Laut

Dalam analisis stabilitas pipa bawah laut, pipa harus dapat menahan gaya-gaya hidrodinamis alam arah vertikal dan lateral. Secara konsep, berat pipa yang tenggelam harus lebih besar daripada gaya-gaya yang bekerja pada pipa. Ilustrasi gaya yang bekerja pada pipa dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut:

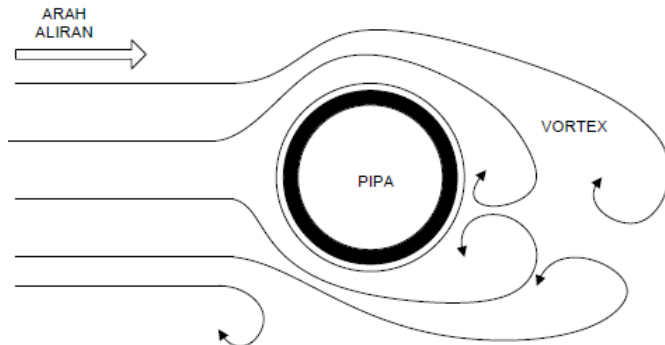


Gambar 1. Gaya Hidrodinamis yang Bekerja pada Pipa sumber: Mousselli, 1981[5]

B. Gaya Drag (F_D)

Gaya drag adalah gaya hambat yang bekerja dalam arah horizontal (paralel terhadap aliran). Gaya drag ini terjadi

dikarenakan adanya gesekan antara fluida dengan dinding pipa atau yang dikenal sebagai *skin friction* dan adanya *vortex* yang terjadi di belakang pipa (*form drag*), sketsa terjadinya *vortex* dan *flow separation* dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Fenomena *Vortex* dan *Flow Separation*
sumber: Mouselli, 1981 [5]

Besar gaya drag dapat di formulasikan pada persamaan (1) sebagai berikut:

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot D \cdot U \cdot |U| \quad [Boyun Guo, 2005] \quad (1)$$

dengan,

F_D = gaya drag (N/m)

C_D = koefisien drag

ρ_w = massa jenis fluida (kg/m³)

D = diameter pipa (m)

U = kecepatan partikel arus laut (m/s)

C. Gaya Inersia (F_I)

Gaya inersia adalah gaya yang menunjukkan ketahanan alami suatu benda terhadap suatu perubahan yang ada dalam suatu keadaan bergerak atau diam. Gaya ini ada dari masa fluida yang dipindahkan oleh pipa, nilainya dipengaruhi oleh percepatan air. Besar gaya inersia dapat dirumuskan seperti berikut:

$$F_I = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \rho_w \cdot C_M \cdot a \quad [2] \quad (2)$$

dengan,

F_I = gaya inersia per satuan panjang (N/m)

C_M = koefisien hidrodinamik inersia

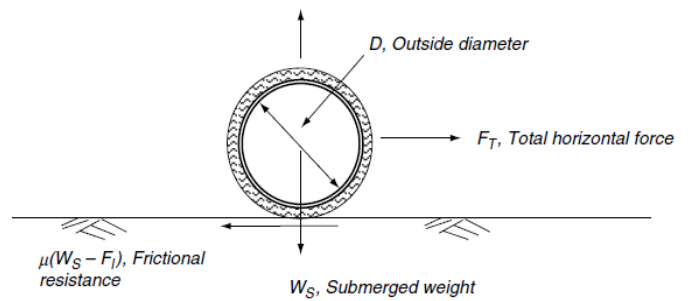
ρ_w = massa jenis fluida (kg/m³)

D = diameter pipa (m)

a = percepatan partikel air (m/s²)

D. Gaya Gesek (F_R)

Gaya gesek adalah gaya yang berarah melawan gerak benda atau arah kecenderungan arah bergerak. Gaya gesek muncul apabila dua buah benda bersentuhan. Besarnya gaya gesek di pengaruhi oleh koefisien gesek (μ) antara permukaan luar pipa dengan permukaan dasar laut. Berikut diagram gaya gesek yang terjadi pada pipa dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3. Gaya Gesek pada Pipa Bawah Laut
sumber: Boyun Guo, 2005

Besar gaya gesek dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_R = \mu \cdot N \quad [Boyun Guo, 2005] \quad (3)$$

dengan,

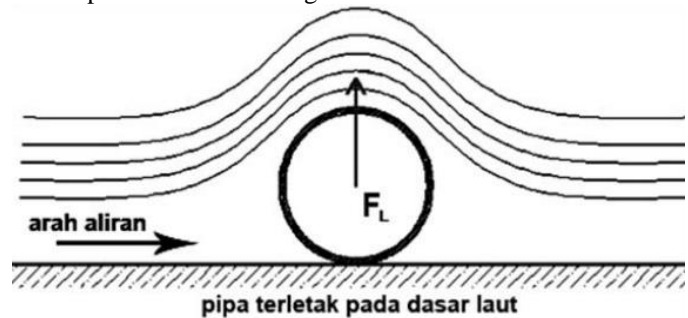
F_R = gaya gesek (N)

μ = koefisien gesek

N = gaya normal (N)

E. Gaya Angkat (F_L)

Gaya angkat adalah komponen gaya fluida yang bekerja pada suatu benda yang tegak lurus terhadap arah rambatan gelombang/ arus. Gaya angkat terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi *streamline* pada pipa. Ilustrasi gaya angkat dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 4. Ilustrasi *Streamline* pada Pipa
sumber: Mouselli, 1985 [5]

Besarnya gaya angkat dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot D \cdot C_L \cdot U^2 \quad [2] \quad (4)$$

dengan,

F_L = gaya angkat (*lift force*) (N/m)

C_L = koefisien gaya angkat

ρ_w = massa jenis fluida (kg/m³)

D = diameter pipa (m)

U = kecepatan partikel arus laut (m/s)

F. Stabilitas Vertikal

Kestabilan pipa di dasar laut sangat dipengaruhi oleh berat pipa di dalam air, gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa, serta tahanan tanah di dasar laut. Untuk menghindari pipa

mengapung berat terendam pipa harus memenuhi kriteria berikut:

$$\frac{W_{sub} + B}{B} \geq 1.1 \tag{5}$$

dengan,

B = gaya apung (*buoyancy*) (N/m)

W_{sub} = berat terendam pipa (N/m)

G. Stabilitas Lateral

Stabilitas pipa yang terjadi interaksi antara pergerakan arus air lau yang melalui pipa dengan koefisien gesek antara permukaan pipa dengan dasar laut. Analisis sederhana stabilitas pipa pada arah lateral sebagai berikut:

$$\frac{W_{sub} - F_L}{F_D + F_I} \geq 1.1 \tag{6}$$

dengan,

F_L = gaya angkat (N/m)

F_D = gaya drag (N/m)

F_I = gaya inersia (N/m)

W_{sub} = berat terendam pipa (N/m)

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Daerah studi yang dijadikan penelitian adalah suatu proyek instalasi pipa bawah laut yang mengalirkan fluida gas dari *platform* SP ke *platform* B2C. Daerah studi berlokasi di Cimalaya, Karawang, Jawa Barat. SP *platform* berlokasi di sekitar 10 km sebelah barat daya dari *platform* B1C/B2C, dengan masa operasi selama 20 tahun. Berikut peta lokasi daerah penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta Lokasi Pipa SP Platform
Sumber: Google Earth, 2017

B. Data Penelitian

Data yang disajikan meliputi data material, dimensi, dan lingkungan pipa bawah laut yang diperoleh dari data desain pipa bawah laut dari dokumen milik PT. Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java.

C. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian merupakan langkah-langkah yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Ada beberapa panduan dalam menyelesaikan penelitian ini diantaranya buku, jurnal nasional maupun internasional, dan beberapa penelitian tahun sebelumnya yang membahas tentang *pipeline*, dan *pipeline stability*.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi data pipa dan data lingkungan yang sudah diukur, jadi tinggal melakukan perhitungan. Data diperoleh dari dokumen proyek SP *platform* Pertamina PHE ONWJ.

3. Perhitungan Berat Pipa

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk mengetahui berat pipa baik saat di udara, berat tercelup pipa, dan *buoyancy* pipa pada saat berada dalam air.

4. Perhitungan Stabilitas Pipa (*On-bottom Stability*)

Pada tahap ini bertujuan untuk memastikan apakah pipa sudah berada dalam kondisi stabil atau belum untuk analisis lebih lanjut.

5. Hasil Analisis dan Pembahasan

Hasil analisis *on-bottom stability* akan disajikan dalam bentuk tabel serta dilakukan pembahasan terhadap hasil analisis yang didapat.

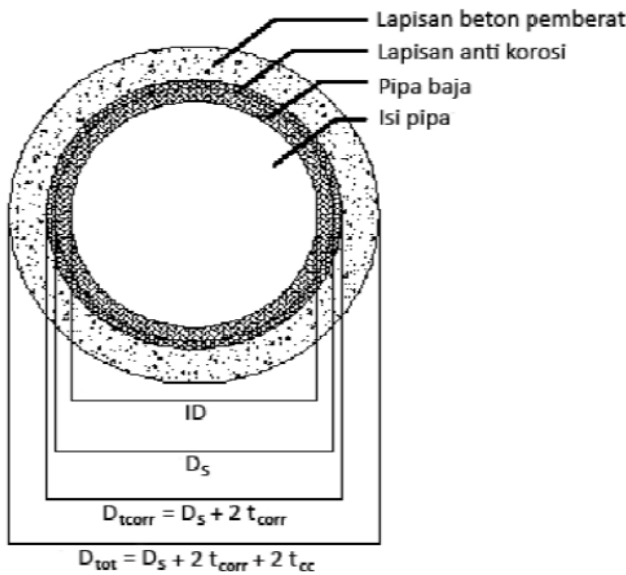
6. Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan yang bermanfaat serta diperlukan saran-saran untuk penelitian berikutnya.

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Analisis Berat Pipa Terendam

Struktur pipa bawah laut umumnya memiliki dua lapisan pelindung utama yang meliputi lapisan beton (*concrete coating*) dan lapisan anti korosi (*corrosion coating*). Pemilihan ketebalan lapisan beton pemberat harus diperhatikan dengan serius agar tidak terjadi pemborosan biaya. Dalam perhitungan beban yang akan diterima pipa, berat dari pipa itu sendiri juga diperhitungkan sebagai berat pipa terdistribusi merata per satuan panjang Berikut Gambar 6 merupakan ilustrasi potongan melintang pipa untuk menghitung berat terendam pipa:



Gambar 6. Potongan Melintang Pipa Bawah Laut
sumber: Julius hery, 2008 [6]

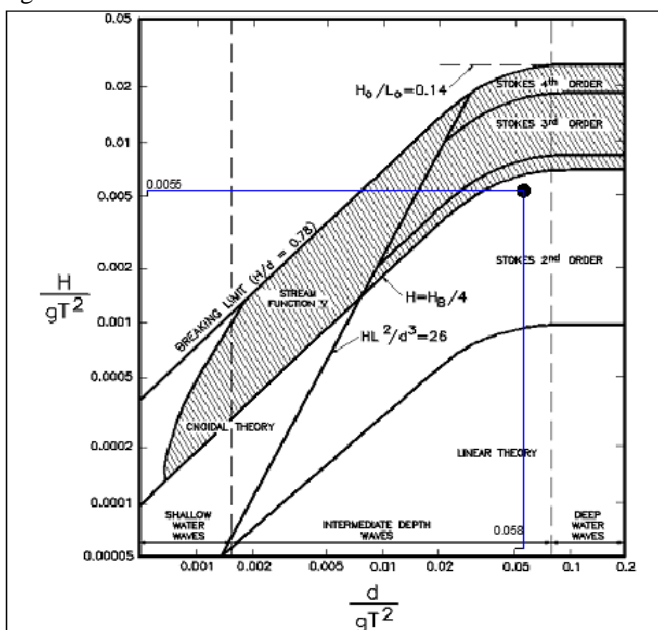
Dari perhitungan yang telah dilakukan didapatkan berat terendam pipa minimum sebesar 764,932 N/m

B. Penentuan Teori Gelombang

Teori gelombang linear diperlukan untuk analisis gaya-gaya yang terjadi terhadap pipa akibat gelombang laut. Teori gelombang linear diformulasikan sebagai berikut:

$$\frac{H}{g.T^2} \text{ dan } \frac{d}{g.T^2} \tag{7}$$

Hasil dari formulasi matematika tersebut kemudian disesuaikan dengan grafik daerah aplikasi teori gelombang "Region of Validity of Wave Theories", seperti terlihat pada Gambar 7 sehingga dapat diketahui teori gelombang yang akan digunakan



Gambar 7. Grafik Region of Validity of Wave Theories

sumber: Le Mehaute, 1976 [7]

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa teori gelombang yang dipakai adalah teori gelombang stoke orde 2. Sehingga, persamaan kecepatan dan percepatan partikel gelombang pada arah horizontal untuk teori gelombang Stokes Orde 2 dapat diketahui dari persamaan berikut [8]:

• Kecepatan horizontal:

$$u = \frac{\pi H \cosh(kz)}{T \sinh(kd)} \cos\theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L}\right) \frac{\pi H \cosh(2ks)}{T \sinh^4(kd)} \cos(2\theta) \tag{8}$$

• Percepatan Horizontal

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H \cosh(kz)}{T^2 \sinh(kd)} \sin\theta + \left(\frac{3\pi^2 H}{T^2}\right) \frac{\pi H \cosh(2ks)}{L \sinh^4(kd)} \sin(2\theta) \tag{9}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan di dapatkan kecepatan partikel gelombang arah horizontal sebesar 0,472 m/s dengan kecepatan efektifnya horizontal sebesar 0,46 m/s. Sedangkan untuk percepatan horizontal sebesar 0 m/s² karena sudut fase diasumsikan 0°.

C. Analisis Kecepatan Arus

Rumus yang digunakan untuk menghitung kecepatan arus adalah sebagai berikut:

$$U_D = U_r \cdot \left[\frac{(1 + \frac{z_0}{D}) \cdot (\ln(\frac{D}{z_0} + 1) - 1)}{\ln(\frac{z_r}{z_0} + 1)} \cdot \sin(\theta_{curr}) \right] \tag{10}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan di dapatkan kecepatan arus sebesar 0,22 m/s dengan kecepatan efektifnya sebesar 0,214 m/s.

D. Analisis Gaya Hidrodinamis

Salah satu metode yang digunakan dalam menghitung gaya hidrodinamis yaitu menggunakan pendekatan metode Morrison. Metode ini menghitung gaya gelombang yang terjadi pada suatu struktur akibat gelombang laut di permukaan. Metode ini cocok untuk diterapkan pada struktur pipa bawah laut.

Gaya gelombang arah horizontal merupakan penjumlahan antara gaya inersia dan gaya drag. Sedangkan, gaya arah vertikal adalah gaya angkat. Gaya yang mengenai pipa bawah laut, setelah di lakukan perhitungan didapatkan gaya drag sebesar 145,49 N/m, gaya inersia sebesar 0 N/m, dan gaya angkat sebesar 167,67 N/m

E. Stabilitas Vertikal

Kestabilan pipa di dasar laut sangat dipengaruhi oleh berat pipa di dalam air, gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa, serta tahanan tanah di dasar laut. Analisis stabilitas vertikal dilakukan untuk mengetahui apakah berat pipa di udara mampu melawan gaya apung ketika pipa tercelup di dalam air agar memenuhi kriteria yang telah ditentukan. Adapun kriterianya dapat dilihat pada persamaan (5) sehingga didapatkan bahwa stabilitas vertikal aman dengan faktor keamanan sebesar $4.1 \geq 1.1$

F. Stabilitas Lateral

Stabilitas lateral dalam penelitian ini berdasarkan perhitungan kriteria desain sesuai persamaan (6), sehingga didapatkan faktor keamanan sebesar $1.6 \geq 1.1$ dimana dapat disimpulkan bahwa stabilitas lateral dalam keadaan aman dengan ketebalan beton sebesar 33 mm.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Besar nilai gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa adalah:

- a. Arah horizontal gaya drag (F_D) sebesar 145,49 N/m
- b. Arah horizontal gaya inersia (F_I) sebesar 0 N/m
- c. Arah vertikal gaya angkat (F_L) sebesar 167,67 N/m.

2. Stabilitas pipa dibagi menjadi dua yaitu stabilitas vertikal dan stabilitas lateral dimana nilainya harus kurang dari 1. Dari hasil penelitian didapatkan:

- a. Faktor keamanan stabilitas vertikal pipa adalah $4.1 \geq 1.1$

b. Faktor keamanan stabilitas lateral pipa adalah $1.6 \geq 1.1$

c. Sehingga dapat disimpulkan untuk tebal minimum *concrete* yang diambil adalah sebesar 33 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soegiono, *Pipa Laut*. Surabaya: Airlangga University Press, 2007.
- [2] A. Guo, B., Song, S., Chacko, J., dan Ghalambor, *Offshore Pipelines*. United State of America: Gulf Professional Publishing, 2005.
- [3] C. K. C. Y. Tian, M.J. Cassidy, "Assessment of Offshore Pipelines Using Dynamic Lateral Stability Analysis," *Appl. Ocean Res.*, pp. 45-57, 2015.
- [4] Q. Bai, Y. and Bai, "Subsea Pipelines and Risers," *Elsevier Sci.*, 2005.
- [5] A. H. Mouselli, *Offshore Pipeline Design, Analysis and Methods*. Oklahoma: Analysis and Methods, 1981.
- [6] J. Heryanto, "Desain dan Analisis Struktur Pipa Bawah Laut," Institut Teknologi Bandung, 2008.
- [7] B. Le Mehaute, "An Introduction to Hydrodynamics and Water Wave," *Springer Verlag*, 1976.
- [8] S. . Chakrabarti, *Hydrodynamics of Offshore Structures*. USA: CBI Industries, Inc, 1987.