

ANALISA MEKANISME *UPHEAVAL BUCKLING* PADA *OFFSHORE PIPELINE* STUDI KASUS: PT. UNIVERSAL BATAM ENERGY (PT. UBE) DENGAN VARIABEL TANAH, TEMPERATUR, DAN TEKANAN

Novrizal Putra Aulia, Imam Rochani, Handayanu
Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: imamr@oe.its.ac.id

Abstrak—Tugas akhir ini membahas tentang salah satu jenis *global buckling* yaitu *upheaval buckling*. Penulis akan menganalisa mekanisme *upheaval buckling* untuk pipa tertimbun pada sistem *offshore pipeline* milik PT. Universal Batam Energy (PT. UBE). Dalam analisa mekanisme *upheaval buckling*, penulis menggunakan tiga variabel yaitu tekanan, temperatur, dan tanah. Terjadinya *upheaval buckling* pada dasarnya dikarenakan oleh gaya aksial efektif. Tetapi pengaruh yang mempermudah deformasi vertikal pada pipa adalah *initial slope*. Kondisi kontur dasar laut yang tidak rata dapat menyebabkan pipa mengalami tekukan awal akibat adanya puncak dan lembah dari kontur. Pengaruh tekanan dan temperatur akan mempengaruhi besarnya gaya aksial efektif yang bekerja pada pipa. Semakin dalam kedalaman laut maka akan semakin kecil gaya aksial efektif pada pipa karena selisih antara tekanan internal dan tekanan eksternal yang semakin kecil. Timbunan tanah akan menahan gaya aksial tersebut sesuai dengan dalamnya timbunan. Semakin dalam timbunan tanah maka semakin kecil terjadinya *upheaval buckling*.

Kata Kunci— gaya aksial efektif, *upheaval buckling*, clay, sand.

I. PENDAHULUAN

Offshore pipelines merupakan salah satu metode dalam memindahkan minyak bumi dan gas dari fasilitas *offshore* ke *plant*, dan dari *onshore* ke *onshore* lainnya. Proses pemasangan pipa yang ditempatkan di *offshore* dan *onshore* harus mengikuti prosedur-prosedur yang telah dibuat. Untuk segala jenis pipa baja yang mengalirkan *fluida service* berupa minyak dan gas harus dibenamkan kedalam tanah sedalam 3 meter. Dengan membenamkan pipa kedalam tanah akan melindungi pipa tersebut dari pengaruh eksternal seperti tubrukan, angin, dan segala hal yang dapat mempengaruhi struktur dari pipa baja tersebut.

Namun dengan membenamkan pipa (*buried pipe*) akan muncul masalah baru seperti tekanan pada pipa tersebut akan bertambah. Membenamkan pipa kedalam tanah akan menambah tegangan pada pipa akibat gaya aksial efektif yang akan menyebabkan terjadinya *upheaval buckling* (Surya, 2012). Pada proses desain, sangat penting mempertimbangkan kegagalan berupa *upheaval buckling*. Menurut Palmer dan Baldry (1974), dengan perbedaan temperatur saat instalasi dengan saat operasi, dan perbedaan tekanan internal dan tekanan eksternal pada pipa akan mengakibatkan gaya aksial

yang besar dan mengakibatkan pipa melengkung keatas. Untuk menahan deformasi tersebut, jenis tanah mempunyai peran yang penting menahan lengkungan tersebut. Gaya friksi yang terjadi pada permukaan pipa dengan tanah akan menahan lengkungan pada pipa tersebut agar tidak terjadi lengkungan keatas (*upheaval*).

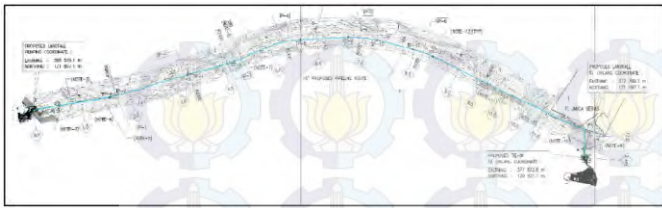
Hal diatas menunjukkan selain melakukan analisa tekanan pada pipa juga harus mempertimbangkan analisa geoteknik terkait jenis tanah yang akan digunakan untuk menanam pipa. Mengingat bahwa Konsorsium PT. PLN Batam dan PT UBE (Univesal Batam Energy) akan membuat saluran tranportasi gas dari pulau Tanjung Pemping menuju *gas power plant* di Tanjung Uncang-Batam. Pipa yang menghubungkan Tanjung pemping dan Tanjung Uncang mempunyai panjang $\pm 12,5$ km. Pipa tersebut akan mengalirkan gas pada tahun pertamanya sebanyak 40 MMSCFD dan akan terus meningkat sampai 6 tahun mendatang sebesar 55 MMSCFD.

Pipa gas tersebut akan melewati selat yang menghubungkan pulau Tanjung Pemping ke Tanjung Uncang-Batam dengan pipa yang ditanam (*buried pipe*). Maka tekanan eksternal sangat berpengaruh terhadap analisa tegangan yang terjadi pada pipa. Oleh karena itu desain *offshore pipeline* harus mendukung agar *upheaval buckling* tidak terjadi atau setidaknya masih dalam batas-batas yang diijinkan. Hal itulah yang melatar belakangi penulis mengangkat judul ini yang sekiranya layak untuk dibahas.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

Mengumpulkan sejumlah literatur yang dipakai dapat berupa jurnal penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, buku teks, code, dan sumber dari media elertronik maupu cetak. Materi yang dicari meliputi mekanisme terjadinya *buckling*, parameter *buckling*, dan kekuatan tanah maupun tekanan tanah.



Gambar. 1. Rute layout pipeline dari pulau Batam menuju Tanjung Ugang.

B. Analisa Kekuatan Tanah

Pada analisa *soil resistance*, input tanah untuk memodelkan *buried pipe* (pipa yang ditanam) adalah dengan melakukan perhitungan tahanan tanah horizontal, tahanan tanah longitudinal, tahanan tanah vertikal *up*, tahanan tanah vertikal *down*.

C. Analisa Gaya Aksial Efektif

Gaya aksial efektif merupakan gabungan dari tegangan yang terjadi pada pipa seperti tegangan hoop, tegangan longitudinal, dan tegangan poisson. Ketiga tegangan ini mempunyai pengaruh besar terhadap terjadinya upheaval buckling selain initial slope yang disebabkan oleh ketidakrataan tanah.

D. Pembebeanan

Pada tahap ini adalah menganalisa hubungan antara tekanan tanah dengan gaya aksial efektif. Pipa sudah dikenai beban tanah dan beban gaya aksial efektif. Hubungan tersebut berupa safety factor dari perbandingan antara *total resistance* dengan *download resistance*. Total resistance adalah tekanan tanah atau tahanan tanah yang diberikan oleh tanah penimbun untuk menahan defleksi vertikal keatas, sedangkan *download resistance* adalah variabel gaya yang sudah dipengaruhi oleh *imperfection height* dan gaya aksial efektif.

III. GAYA AKSIAL EFEKTIF

Gaya aksial efektif ini bekerja pada sumbu pipa sehingga dapat terjadi defleksi secara global kearah vertikal. Gaya aksial merupakan kombinasi dari tegangan kompresif akibat pengaruh perbedaan temperatur pada saat operasi dan saat instalasi dengan tegangan kompresif akibat perbedaan tekanan internal dan tekanan eksternal (Prayoga, 2012). Pada pipa tertahan (*restrained*) maka pada dinding pipa akan terbentuk tegangan kompresif pada arah longitudinal.

Gaya aksial efektif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (DnV 110, 2007):

$$F_x = A_s \times E \times \epsilon_x \tag{1}$$

Dengan:

F_x = gaya aksial (N)

A_s = luas area pipa pada potongan melintang (m²)

ϵ_x = Axial strain

Upheaval buckling terjadi akibat kombinasi dari gaya tekan akibat kompresi termal dan gaya tekan akibat perbedaan tekanan.

IV. GAYA RESSTANCE TANAH

Istilah jenis-jenis tanah seperti kerikil, pasir, lanau, dan lempung biasanya digunakan dalam teknik sipil untuk membedakan jenis tanah. Namun pada kondisi di alam, tanah dapat terdiri dari dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan ada pula dari bahan organik. Dalam penamaan jenis tanah, nama campurannya dipakai sebagai nama tambahan dibelakang material tersebut. Sebagai contoh tanah lempung berlanau merupakan tanah lempung yang mengandung lanau, dengan material utamanya adalah tanah lempung, sedangkan campurannya adalah lanau. Menurut Robydiyansyah (2008), tanah berbutir kasar dapat diidentifikasi berdasarkan ukuran butiran. Butiran yang berdiameter melebihi 2mm dapat diklasifikasikan sebagai kerikil.

Perbedaan jenis-jenis tanah mengakibatkan perbedaan pada sifat-sifat teknis tanah bila diberikan beban. Tanah granuler seperti pasir, krikil, batuan dan campurannya mempunyai sifat-sifat teknis yang sangat baik. Sifat tanah granuler antara lain:

1. Merupakan jenis tanah yang baik untuk mendukung bangunandann badan jalan, karena mempunyai kapasitas dukung yang tinggi dan penurunan yang kecil, sifat ini akan optimal bila tanah dipadatkan. Penurunan dapat terjadi bila terdapat getaran dengan frekuensi yang cukup tinggi.
2. Merupakan jenis tanah yang baik digunakan sebagai tanah urug pada dinding penahan tanah karenaa menghasilkan tekanan lateral yang kecil.
3. Kerikil adalah material granuler yang biasanya bercampur dengan pasir. Dengan bercampurnya dua jenis tanah granuler tersebut maka bercampur pula butiran besar dengan butiran yang kecil. Ukuran butiran yang saling mendesak dan dipadatkan akan sangat kuat gaya gsernya.

Seara teoritis tahanan tanah vertikal *up* merupakan *uplift resistance* untuk pipa. uplift resistance adalah gaya tahannan keatas yang disebabkan oleh gaya akisal efektif. Uplift resistance merupakan gabungan antara berat tanah, pipa dan *fluida*. Perhitungan tahanan tanah vertika *up* dapat dilihat pada persamaan (2) (Palmer, 1974):

$$q_s = \rho_b \times g \times D_o \times H \left(1 + f \frac{H}{D_o} \right) \tag{2}$$

Dengan:

D_o = Overall diameter.

ρ_b = Massa jenis tanah penimbun (tergantung jenis tanah penimbun).

f = Koefisien *uplift resistance* (sand = 0,5 dan clay = 0,1)

H = Tinggi minimum penimbunan dihitung dari titik tengah pipa.

q_s = *Uplift resistance*.

Gaya aksial efektif disebabkan oleh gaya poisson dan gaya ekspansi termal. Maka gaya aksial efektif disetiap kedalaman pipa nilainya dapat berbeda-beda. Pada penyusunan tugas akhir ini, pipa yang ditinjau adalah pipa tertanam (*burried pipe*). Pipeline sepanjang ±12 km yang menghubungkan pulau Batam dan Tanjung Uncang mempunyai *burried pipe* dengan panjang total ±3,1 km (1,5 km di pesisir Batam dan 2,1 km di pesisir Tanjung Uncang). Hasil perhitungan gaya aksial efektif di setiap kedalaman *burried pipe* dapat dilihat pada Tabel (1)

Tabel 1.

Gaya poisson, gaya ekspansi, dan gaya aksial efektif

WD* (m)	Tanah	Daerah	Gaya Poisson (N)	Gaya Ekspansi (N)	Gaya aksial Efektif (N)
3,1	sand	T. Uncang	3,807x10 ⁵	-6,851x10 ⁵	-1,042 x 10 ⁶
7,1	clay	T. Uncang	3,776x10 ⁵	-6,851x10 ⁵	-1,04 x 10 ⁶
14	clay	T. Uncang	3,722x10 ⁵	-6,851x10 ⁵	-1,036 x 10 ⁶
20	sand	Batam	3,676x10 ⁵	-6,851x10 ⁵	-1,032 x 10 ⁶
15,8	sand	Batam	3,708x10 ⁵	-6,851x10 ⁵	-1,035 x 10 ⁶
11,2	sand	Batam	3,744x10 ⁵	-6,851x10 ⁵	-1,038 x 10 ⁶
0,22	sand	Batam	3829x10 ⁵	-6,851x10 ⁵	-1,044 x 10 ⁶

*WD – *Water depth*

Hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa setiap perubahan kedalaman laut dapat mempengaruhi gaya aksial efektif. Semakin dalam kedalaman laut, gaya aksial efektif akan semakin kecil karena perbedaan tekanan antara tekanan eksternal dan tekanan internal semakin kecil. Gaya aksial yang paling besar terjadi pada kedalaman 0,22 m sebesar -1,044 x 10⁶ N dan gaya aksial yang paling kecil terjadi di kedalaman 20 m sebesar -1,032 x 10⁶ N.

Salah satu cara untuk menahan deformasi vertikal dapat dilakukan dengan cara menanam pipa dengan kedalaman tertentu agar pipa tidak berdeformasi keatas. Dengan cara menanam pipa di kedalaman tertentu, beban yang dialami pipa juga bertambah. Tanah yang menimbun pipa juga dapat membebani pipa. Maka perlu analisa mendalam terhadap beban yang mengenai pipa akibat tanah timbunan. Pada penyusunan tugas akhir ini, pipa ditanam pada kedalaman 1,5 m, 2 m, dan 4 m. Ada dua jenis tanah yang menimbun pipa dikedalaman tertentu. Jenis tanah tersebut didapat berdasarkan kondisi tanah di seabed (jenis tanah dapat dilihat di tabel 4.4). Hasil perhitungan *dawnward resistance*, *imperfection lenght*, dan *minimum safety factor* disetiap KP *burried pipe* dapat dilihat pada Tabel (2),

Tabel 2.

Dawnward resistance

KP* (km)	q^* (kN/m)	W_o^* (kN/m)	SF* > 1
0,0 – 1,0	1,429 x 10 ⁴	8,806 x 10 ³	1,6
1,0 – 1,5	2,057 x 10 ⁴	8,768 x 10 ³	2,66
1,5 – 2,0	2,057 x 10 ⁴	8,703 x 10 ³	2,68
9,0 – 9,5	8,233 x 10 ⁴	8,729 x 10 ³	9,43
9,5 – 10,0	8,233 x 10 ⁴	8,686 x 10 ³	9,47
10 – 10,5	8,233 x 10 ⁴	8,729 x 10 ³	9,43
10,5 – 11,0	2,338 x 10 ⁴	8,832 x 10 ³	8,83

*KP – Kilometer poin

* q – *Efektif dawnward*

* W_o – *dawnward resistance*

*SF – *Safety factor*

Tabel (2) menunjukkan bahwa faktor keselamatan akan semakin besar atau semakin baik dengan kedalaman timbunan 4 m, tapi dengan konsekuensi beban yang mengenai pipa lebih besar (OTC, 1990). Kedalaman laut yang berbeda-beda juga dapat mempengaruhi beban pada pipa, semakin dalam laut tekanan pada pipa relatif semakin kecil karena selisih antara tekanan eksternal dengan tekanan internal semakin kecil. *Safety* faktor yang paling besar terjadi pada kilometer poin 9,5 – 10,0 sebesar 9,47 dengan kedalaman timbunan pipa sedalam 4 m. Harga *safety* faktor yang paling kecil terjadi pada kilometer poin 0,0 – 1,0 sebesar 1,6 dengan kedalaman timbunan pipa sedalam 1,5

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil studi kasus dan analisis, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Upheaval buckling terjadi karena adanya gaya aksial efektif akibat pengaruh perbedaan tekanan, dan perbedaan temperatur. Perbedaan tekanan antara tekanan eksternal dengan tekanan internal dapat menyebabkan gaya Poisson yang cukup besar. Sedangkan perbedaan temperatur saat instalasi dengan saat operasi dapat menyebabkan gaya ekspansi yang besar. Kedalaman timbunan akan menyebabkan *uplift resistance* yang akan menahan gaya aksial efektif. Semakin dalam timbunan maka akan semakin besar pula gaya *uplift resistance* pada pipa. Gaya aksial yang terbesar pada kedalaman 0,22 m sebesar -1,044 x 10⁶ N dan gaya aksial terkecil terjadi di kedalaman 20 m sebesar -1,032 x 10⁶ N. Sedangkan *Safety* faktor terbesar terjadi pada kilometer poin 9,5 – 10,0 sebesar 9,47 dengan kedalaman timbunan pipa sedalam 4 m. Harga *safety* faktor terkecil terjadi pada kilometer poin

- 0,0 – 1,0 sebesar 1,6 dengan kedalaman timbunan pipa sedalam 1,5 m.
2. Perbedaan submerged soil density antara sand dan clay menyebabkan perbedaan berat tanah per satuan meter. Berat yang berbeda dari setiap jenis tanah akan mempengaruhi uplift resistance. Tanah jenis clay mempunyai uplift resistance yang lebih besar dibanding dengan tanah jenis sand. Hal itu disebabkan karena sifat kohesi tanah berlempung tinggi, sedangkan tanah berpasir tidak mempunyai kohesi yang besar atau tidak bisa saling mengikat antar partikel.
 3. Upheaval Buckling dapat terjadi karena tahanan tanah yang tidak bisa menahan gaya aksial efektif. Untuk mengatasi *upheaval* dapat dilakukan pemasangan anchor pada *initial slope* yang ekstrim, atau menambahkan timbunan tanah pada daerah yang kritis.

DAFTAR PUSTAKA

- OTC. 1990. “*Design of Submarine Pipelines Against upheaval Buckling*”. OTC Program Committee. Texas. 1990.
- Robydiansyah. 2010. “Kajian Ulang Stabilitas Geser dan Guling *Parafet* di Sungai Grindulu Kabupate Pacitan”. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Negri Yogyakarta.
- Palmer, A. C. Dan Baldry, J.A.S. 1974. “Lateral Buckling of Axxially-Compressed Pipelines”. *Journal Petroleum of Technology*. 1974.
- Prayoga, Friga Surya. 2012. “Studi Pengaruh Temperatur, Tekanan Internal, dan Kedalaman Tanah Terhadap Mekanisme *Upheaval Buckling* pada Pipa *Onshore*”. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan. ITS. Surabaya.