

Analisa Efektivitas Desain *Horizontal Directional Drilling (HDD) River Crossing* pada KP 47+25 - KP 48+000 di *Project PT. Petronas Malaysia*

Denny Cahyo H. ^{1*}, Heroe Poernomo², Raden Dimas Endro W. ³

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

Jurusan TPK, PPNS, Surabaya, Indonesia²

Jurusan TPK, PPNS, Surabaya, Indonesia³

Email: dennycahyo01@gmail.com^{1*}; heroep@na.its.ac.id^{2*}; dimasend@yahoo.com^{3*};

Abstrak

Pipeline atau jaringan pipa adalah sistem jaringan penghubung untuk sarana transportasi fluida hasil produksi dari satu tempat ke tempat lainnya, dimana pipa-pipa tersebut biasanya terletak didalam tanah atau biasa disebut buried pipe, juga bisa ditempatkan di atas permukaan tanah atau juga bisa disebut above ground. Pada saat ini PT. Citra Panji Manunggal tengah melaksanakan konstruksi, salah satunya adalah pembangunan Transmission gas pipeline dari Terminal RGT2 ke existing Peninsular Gas Utilisation (PGU) proyek PT. Petronas Malaysia. Proyek tersebut melewati selat Mendana sejauh ± 285 meter dengan metode yang dipakai adalah horizontal directional drilling (HDD). Pada desain HDD tersebut dapat di optimalkan dengan cara merubah entry point dan exit point sehingga proses construction akan lebih efisien dan pemborosan material dapat diminimalisir. Metode analisa desain pada tugas akhir ini dilakukan dengan cara perhitungan manual dan juga menggunakan software Pipeline Toolbox dengan keluaran yaitu Total Pull Force, Individual Load, Combined load, dan tegangan operasi. Pada penelitian ini diharapkan agar desain Horizontal Directional Drilling (HDD) mampu di jakan referensi untuk desain HDD yang lebih optimal. Hasil perhitungan manual dan menggunakan software Pipeline Toolbox harus memenuhi allowable pada setiap poin. Dari hasil penelitian kali ini didapat desain yang paling optimal yang terdapat pada variasi angle entry point 9° dan exit point 19° dengan panjang pipa yang dibutuhkan untuk HDD sepanjang 401 m.

Kata Kunci: Pipeline, horizontal directional drilling (HDD), Analisa desain, software Pipeline Toolbox.

1. PENDAHULUAN

Proses pengerjaan *pipeline project* melibatkan sistem perpipaan yang cukup kompleks dan rumit. Dalam pelaksanaannya, jaringan pipa gas akan melewati daerah-daerah seperti sungai, jalan raya, dan kereta api. Salah satu metode yang biasa digunakan untuk melewati atau *crossing* sungai, jalan raya, dan rel kereta api adalah metode *Horizontal Directional Drilling (HDD)*. Pada penelitian ini akan menganalisa efektivitas desain *horizontal directional drilling (HDD) river crossing* pada Kp 47+250 – Kp 48+000 di proyek PT. Petronas, berapa tension maksimal dan radius bending maksimal yang diperbolehkan untuk *crossing* tersebut. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui desain yang paling efisien sehingga akan meminimalisir biaya yang dikeluarkan selama proses proyek berjalan.

2. METODOLOGI

2.1. Prosedur Penelitian

Desain *horizontal directional drilling (HDD) river crossing* pada Kp 47+250 – Kp 48+000 merupakan *pipeline* dari Terminal RGT2 ke existing Peninsular Gas Utilisation (PGU) proyek PT. Petronas Malaysia. Pipa gas dibangun sepanjang 72 Km berkapasitas 1400 MMSCFD Natural Gas dengan debit awal sebesar 700 MMSCFD natural gas. Desain tersebut menggunakan pipa 36 inci material API 5L X70 mengalirkan fluida *natural gas*. Analisa pada desain HDD meliputi 4 aspek, yaitu analisa beban tarik, analisa tegangan *individual load*, analisa tegangan *combined load* dan analisa tegangan pada saat operasi.

2.2. Analisa Beban Tarik

Metode perhitungan yang dijelaskan disini dimulai dari perhitungan *finite difference* dari gaya tarik yang dibutuhkan untuk menginstal bagian pipa dari *entry point* ke *exit point* dari lubang percontohan

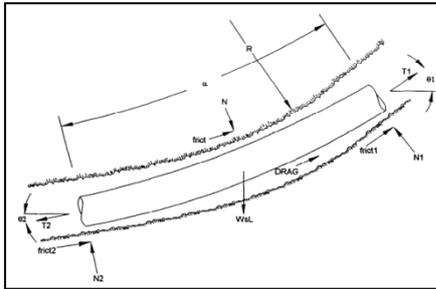
atau *pilot hole*. Perhitungan dilakukan dengan cara menentukan beban tarik maksimal yang diasumsikan terjadi saat pipa masuk dari *entry point*. (Utility and Pipeline Applications, 2005)

2.2.1. Beban tarik pada bagian lurus

$$T_2 = T_1 + |\text{fric}| + \text{DRAG} \pm W_s \times L \sin \theta \quad (1)$$

Persamaan (1) menunjukkan setiap bagian yang lurus, tegangan diujung T₂, ditentukan dari keseimbangan gaya statis. Dimana T₂ merupakan tegangan (atau beban tarik) pada ujung kiri dari bagian lurus, diperlukan untuk mengatasi hambatan dan gesekan (lbs), T₁ merupakan tegangan (atau menarik beban) pada ujung kanan, ini diasumsikan nol untuk section pertama dari lubang (lbs), Fric merupakan gesekan antara pipa dan tanah (lbs), DRAG merupakan drag fluidic antara pipa dan cairan pengeboran (lbs), W_s merupakan banyak berat (terendam) efektif pipa ditambah isi internal *pipeline* (lbs/ft), L merupakan panjang dari *section* (feet), θ merupakan sudut dari sumbu lubang lurus relatif terhadap horizontal (nol sama dengan horizontal, 90° sama dengan vertikal).

2.2.2. Beban tarik pada bagian lengkung



Gambar 2.1 Model bagian lengkung

$$N = \frac{[12 \times T \times h - (W_s/12) \times \cos \theta \times Y]}{X} \quad (2)$$

$$h = R \times \left[1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \quad (3)$$

$$X = 3 \times L_{arc} - \frac{j}{2} \times \tanh\left(\frac{U}{2}\right) \quad (4)$$

$$Y = 18 \times (L_{arc})^2 - j^2 \times \left[1 - \frac{1}{\cosh\left[\frac{U}{2}\right]} \right] \quad (5)$$

$$j = \left(E \times \frac{I}{T} \right)^{1/2} \quad (6)$$

$$I = \pi \times (D-t)^3 \times \frac{t}{8} \quad (7)$$

$$U = \frac{12 \times L_{arc}}{j} \quad (8)$$

Persamaan (2) menunjukkan persamaan beban tarik pada saat lengkung, dimana h merupakan *displacement* (feet), T merupakan *average* dari T₁ and T₂. Persamaan (3) merupakan turunan dari persamaan (1), dimana R merupakan *radius of curvature of the curved section between point 2 and 3* (feet), α merupakan *included angle of the curved section* (degrees). Persamaan (5) merupakan turunan dari persamaan (1), dimana L_{arc} merupakan R x θ x (π/180) (feet). Persamaan (6) merupakan turunan dari persamaan (4), dimana E merupakan Modulus Young untuk baja (2,9 x 10⁷ psi), t merupakan tebal dinding pipa (inch)

2.3. Analisa Tegangan Pada Pipa

Kasus kondisi tegangan *critical* untuk pipa berada pada saat kombinasi *tensile*, *bending* dan *hoop* terjadi pada waktu yang sama.

i. Individual Load

Untuk lokasi yang dipilih dalam profil jalan yang dibor yang dicurigai sebagai lokasi tegangan kritis, pertama menghitung tekanan individual untuk kondisi pembebanan tertentu (tarik, *bending*, *hoop stress*) dan membandingkan terhadap tingkat *allowable* untuk tegangan tersebut. (Utility and Pipeline Applications, 2005)

- *Tensile stress*

$$f_t = T/A \quad (9)$$

$$F_t = 0.9 \times \text{SMYS} \quad (10)$$

Persamaan (9) dan (10) menunjukkan persamaan beban tarik pada saat instal pipa, dimana F_t merupakan *allowable tensile stress* (psi), f_t merupakan *tensile stress* (psi). T merupakan *tension* pada *point interest* (lb), dan A merupakan Persamaan luas penampang dinding pipa (in)

- *Bending stress*

$$f_B = (E \times D \times 12) / (24 \times R) \quad (11)$$

$$F_B = 0.75 \times \text{SMYS} \quad (12)$$

for D/t ≤ 1,500,000/SMYS

$$F_B = [0.84 - \{1.74 \times SMYS \times D/(E \times t)\}] \times SMYS \quad (13)$$

for $1,500,000/SMYS < D/t \leq 3,000,000/SMYS$

$$F_B = [0.72 - (0.58 \times SMYS \times D/(E \times t))] \times SMYS \quad (14)$$

for $3,000,000/SMYS < D/t \leq 300,000$

Persamaan (11) dan (13) menunjukkan persamaan tegangan bending pada saat instal pipa, dimana F_B merupakan *allowable bending stress* (psi), f_b merupakan *bending stress* (psi).

- *Hoop stress*

$$F_H = (\Delta p \times D) / (2 \times T)$$

Dimana Δp (psi) adalah sama dengan perbedaan antara tekanan hidrostatik yang diberikan oleh lumpur pengeboran di *hole acting* pada bagian luar pipa dan tekanan dari air, lumpur atau *acting air* di dalam pipa, di kedalaman tempat tujuan (Δp menghasilkan tegangan *external hoop* diambil sebagai positif).

external mud pressure = mud wt (lbf/ft³) x depth (ft)

Allowable Hoop Buckling Tress sebagai berikut:

$$F_H < F_{HC} / 1.5 \quad (15)$$

Dimana F_{HC} , adalah fungsi dari T_{HE} , sebagai berikut

$$F_{HE} = 0.88 \times E \times (t/D)^2 \quad (16)$$

dan,

$$F_{HC} = F_{HE} \quad (17)$$

for $0.55 \times SMYS < F_{HE} \leq 1.6 \times SMYS$

Untuk elastic hoop buckling,

$$F_{HC} = 0.45 \times SMYS + 0.18 \times F_{HE} \quad (18)$$

for $0.55 \times SMYS < F_{HE} \leq 1.6 \times SMYS$

$$F_{HC} = 1.31 \times SMYS / [1.15 + (SMYS/F_{HE})] \quad (19)$$

for $1.6 \times SMYS < F_{HE} \leq 6.2 \times SMYS$

$$F_{HC} = SMYS \quad (20)$$

for $F_{HE} > 6.2 \times SMYS$

Persamaan (15) dan (16) menunjukkan persamaan tegangan hoop pada saat instal pipa, dimana F_{HE}

merupakan *Elastic hoop buckling stress*, F_{HC} merupakan *Critical hoop Buckling Stress*.

ii. Combined Load

Setelah memeriksa beban tunggal dan lulus, maka harus diperiksa untuk keamanan di bawah beban dikombinasikan dengan melakukan dua cek kesatuan; pertama kondisi ganda beban (tension plus bending) dan pada akhirnya beban interaktif seluruhnya yang diperiksa harus sesuai kombinasi *tensile*, *bending* dan *hoop stress*. (Utility and Pipeline Applications, 2005)

Untuk memeriksa kombinasi dari *stress*, *tensile*, dan *bending*, adalah:

$$[f_t / (0.9 \times SMYS)] + [f_b / F_B] \leq 1.0 \quad (21)$$

Untuk memeriksa kombinasi penuh dari *tensile*, *bending* dan *external hoop stresses*, adalah:

$$A^2 + B^2 + 2\nu \times [A] \times B \leq 1 \quad (22)$$

Dimana,

$$A = (F_t + F_b - 0.5 \times F_h) \times 1.25 / SMYS \quad (23)$$

$$B = 1.5 \times F_h / F_{hc} \quad (24)$$

ν = Poisson's ratio (0.3 for steel)

2.4. Beban Operasi dan Analisa Tegangan

Beban operasi yang di alami pada *pipeline* dengan metode HDD tercantum di bawah ini:

- *Hoop stress*, dari fluid,

$$F_H = (\Delta p \times D) / (2 \times T) \quad (25)$$

Dalam hal ini Δp adalah sama dengan perbedaan antara tekanan hidrostatik yang diberikan oleh air tanah yang bekerja pada bagian luar pipa dan tekanan dari fluida (gas) yang mengalir dalam pipa. Perhatikan bahwa untuk analisis ini Δp menghasilkan tegangan *tensile external hoop* diambil sebagai positif.

- *Bending Stress* di pipa sesuai bentuk lubang yang sudah di bor,

$$F_B = (E \times D) / (24 \times R) \quad (26)$$

- *Thermal Stress* yang dihasilkan dari perbedaan antara suhu konstruksi dan suhu operasi.

$$F_T = (E \times k) \times (T_1 - T_2) \quad (27)$$

Dimana,

k = the coefficient of thermal expansion for steel (0.000065 inches per inch per °F) (ASME B31.8)

T_1 = Constructed temperature in °F

T_2 = Operating temperature in °F

- *Total Longitudinal Compressive Stress*

FL = Bending Stress + Thermal Stress + (Hoop Stress x Poisson's ratio)

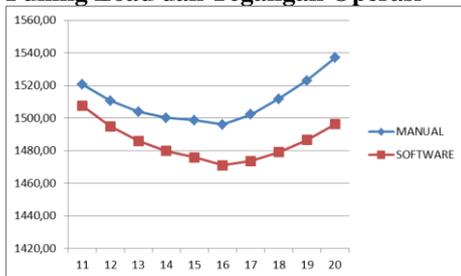
(28)

- *Maximum shear stress*

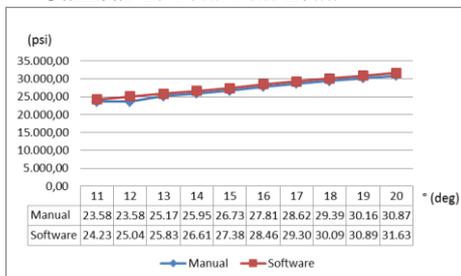
$$\text{Shear stress} = (FH - FL)/2 \quad (29)$$

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pulling Load dan Tegangan Operasi



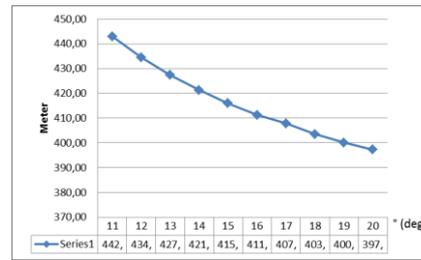
Gambar 1. Total Pull Load



Gambar 2. Tegangan pada saat operasi

Gambar 1 menunjukkan gaya total (beban tarik) diperlukan untuk menarik pipa melalui *borehole* adalah penjumlahan semua kebutuhan gaya baik lurus maupun bagian melengkung pada *pipeline*. Hasil *Pulling Load* dari beberapa variasi menunjukkan bahwa semua beban memenuhi izin yang di syaratkan oleh PRCI *hand book*. Gambar 2 menunjukkan tegangan yang terjadi pada saat operasi. Dari hasil analisa terdapat 3 tungan yang terjadi pada saat operasi, yang pertama adalah *bending stress*, yang kedua adalah *external hoop stress*, dan yang ketiga adalah *thermal stress*.

3.2. Panjang Desain



Gambar 3. Panjang dari beberapa variasi

Gambar 3 menunjukkan hasil dari beberapa variasi yang dilakukan dengan melihat panjang sebagai hasil akhir desain. Hasil yang paling efektif didapat pada variasi dengan entry point 9° dan exit point 19° dengan panjang pipa yang dibutuhkan ± 400 m.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian “Analisa Efektivitas Desain *Horizontal Directional Drilling (HDD) River Crossing* pada KP 47+25 - KP 48+000 di *Project PT. Petronas Malaysia*” yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar sudut pada *bending horizontal directional drilling* maka semakin kecil gaya tarik yang diperlukan untuk menarik pipa, dari analisa didapat sudut yang paling optimal adalah variasi *entry point* 9° dengan *exit point* 19°.
2. Semakin besar sudut pada *bending horizontal directional drilling* maka semakin kecil gaya tarik yang diperlukan untuk menarik pipa, namun pada variasi sudut *exit* 16° mengalami kenaikan kembali karena pada ujung pipa keluar tidak terdapat bagian pipa yang lurus. Gaya tarik dari desain paling optimal dengan variasi sudut *entry point* 9° dengan *exit point* 19° yaitu sebesar 1.523,06 kN, gaya tersebut masih diterima karena berada di bawah *allowable* sebesar 11.412,54 kN.
3. Tegangan dari desain paling optimal dengan variasi sudut *entry point* 9° dengan *exit point* 19° yaitu tegangan *tensile* 4.794,58 psi, *bending* 31.479 psi, dan *hoop stress* 1.313,99 psi, dari hasil tersebut berada dibawah *allowable* dari masing-masing tegangan sehingga variasi tersebut diterima.
4. Pada saat operasi semakin besar sudut pada *bending horizontal directional drilling* maka semakin besar tegangan yang dihasilkan pipa. Pada analisa kali ini *Max Shear Stress* yang paling mendekati *allowable* yaitu variasi sudut *entry point* 9° dengan *exit point* 19° dengan hasil sebedar 30.168,1 psi sedangkan *Max allowable shear stress* sebesar 31.500 psi, maka dari itu desain tersebut bisa digunakan untuk HDD.

5. Dari hasil analisa didapat desain paling optimal dengan variasi sudut *entry point* 9° dengan *exit point* 19° dengan panjang pipa yang dibutuhkan sepanjang 401 m.

4. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan materi, motivasi, kasih sayang, do'a, dan nasehat hidup bagi penulis.
2. Bapak Heroe Poernomo, S.T., M.T, selaku dosen pembimbing 1 dan Bapak Raden Dimas Endro W, S.T., M.T, selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal tugas akhir.
3. Teman-teman seperjuangan teknik perpipaan angkatan tahun 2013 yang telah memberikan motivasi, warna kehidupan, dan kebersamaan.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. API. (2012). Specification for Line Pipe, API Specification 5L Forty-Fifth Edition Washington D.C: American Petroleum Institute.
2. ASME B31.8. (2012). Gas Transmission and Distribution Piping System. U.S.A: American Society of Mechanical Engineering.
3. Hill, McGraw. (2005). Horizontal Directional Drilling: Utility and Pipeline Applications. New York.
4. McAllister, E. W. (2009). Pipeline Rules of Thumb-Hand Book, Seventh Edition. Gulf Professional Publishing: USA.
5. PFI ES-24. (2001). Pipe Bending Methods, Tolerance, Process, and Material Requirements. Wasington D.C: Pipe Fabrication Institute
6. Watson, Paul D. (1995). Installation of Pipeline by Horizontal Directional Drilling An Engineering Design Guide. PRCI: Texas.
7. Polak, Maria Anna. Mechanical modelling for pipesin horizontal directional drilling. Journals Department of Civil Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada N2L 3G1. (2002).
8. Liu, Xu, Zhijiu Ai, Junchen Qi, Shuang Wang, Hao Qin, Huijie Qian. Mechanics analysis of pipe lifting in horizontal directional drilling. Journal College of Mechanical Engineering, Southwest Petroleum University, China. (2015).

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan