

Analisa Pengaruh Sudut *Exit*, Sudut *Entry*, Dan Besar Radius *Natural Bend* Terhadap Efektifitas Desain *Horizontal Directional Drilling (HDD)* Secara Teknis Dan Ekonomis

Sendy Maulana Pratama^{1*}, Heroe Poernomo², Nurvita Arumsari³

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1}*

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{2,3}

Email: maulanasendyp@gmail.com^{1*}, heroe_p@poltera.ac.id^{2*}, arum.up3d@gmail.com^{3*}

Abstract - Pipeline is a connecting network system for fluid transport of from one place to another. Sometimes the pipeline passes through the river, railroad crossings and highways so there needs to be a special method to go through it. This case study is a 20-inch pipeline line that passes through the wax river using the horizontal directional drilling (HDD) method. This final project is done by HDD design calculation to be more effective because minimize budget based on variation of exit and entry angle and natural bend radius by manual calculation and also using Pipeline Toolbox software with result that is Total Pulling Load, Individual Load, Combined Load, and Operating Stress. In this study aims to directional horizontal drilling design can be used as a reference for the next project. The results of manual and software calculations must meet the allowable value of each point based on PRCI, from the results of this study obtained an effective design with variation of entry angle 10, exit angle 10, and 435m natural bend radius with a total cost of Rp 4.522.800.000 and pulling load of 123296.824 lb

Keyword : Pipeline, Horizontal Directional Drilling (HDD), Total Pulling Load.

1. PENDAHULUAN

Pada konstruksi tersebut pipeline akan menemui jalur vital seperti crossing jalan, crossing pemukiman penduduk, dan *crossing* sungai. permasalahan tersebut dapat di hadapi dengan beberapa metode, salah satunya yaitu menggunakan metode *Horizontal Directional Drilling (HDD)*. Dalam pelaksanaan project ini pipeline akan melewati beberapa sungai salah satunya adalah sungai lilin. Aliran sungai supat yang cukup deras sehingga tidak dimungkinkan menggunakan metode opencut oleh karena itu metode *Horizontal Directional Drilling (HDD)* dianggap sesuai untuk mengatasi kondisi tersebut.

Metode tersebut dilakukan bertujuan untuk memberikan efisiensi pekerjaan dan memaksimalkan instalasi jalur pipa *pipeline* dibandingkan harus menggunakan *piperack* atau *bridges*. Sebelum melakukan metode *Horizontal Directional Drilling (HDD)*, sebaiknya hal yang pertama dilakukan adalah soil investigation test, dimana hal tersebut berguna untuk mengetahui struktur tanah dibawah dasar sungai pada tingkat kedalaman berbeda sehingga pada saat dilakukan drilling tidak mengalami penurunan tanah yang bisa mengakibatkan kegagalan ketika pengeboran pada jalur pipa tersebut.

Pada pelaksanaannya mesin yang dimiliki vendor di daerah Palembang hanya berkapasitas

1000 kN sehingga dari divisi pipeline engineering harus mendesain se-efektif mungkin agar mesin yang dimiliki vendor dapat digunakan tanpa perlu memesan mesin dengan kapasitas yang lebih besar, dimana hal tersebut akan mengundur waktu untuk konstruksi.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung efisiensi dari desain *Horizontal Directional Drilling (HDD) river crossing* yang akan dibangun oleh kontraktor pada KP 53+680 – KP 54+120, sehingga dapat meminimalisir anggaran biaya selama proses konstruksi.

2. METODOLOGI

Desain *horizontal directional drilling (HDD) river crossing* pada Kp 53+680 – Kp 54+120 merupakan *pipeline* dari perusahaan pemasok gas ke *existing* perusahaan pupuk. Pipa gas dibangun sepanjang 176 Km berkapasitas 1400 MMSCFD *Natural Gas* dengan debit awal sebesar 70 MMSCFD *natural gas*. Desain tersebut menggunakan pipa 20 inchi material API 5L X65 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

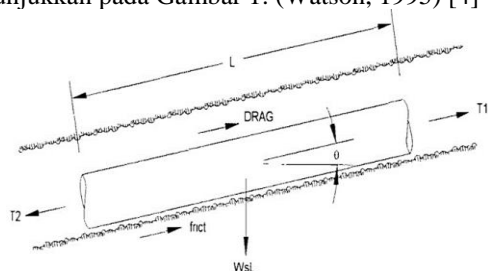
2.1. Radius Natural Bend

Tabel 1. Minimum Radius of Curvature

Yield Strength (psi)	Minimum Radius of Curvature, R			
	F = 0.72	F = 0.6	F = 0.5	F = 0.4
35,000	836 D	1,036 D	1,243 D	1,553 D
42,000	719 D	863 D	1,036 D	1,295 D
46,000	657 D	788 D	946 D	1,182 D
52,000	581 D	697 D	836 D	1,046 D
56,000	539 D	647 D	777 D	971 D
60,000	503 D	604 D	725 D	906 D
65,000	465 D	558 D	669 D	836 D

2.2. Pulling Load Pipa Lurus

Proses pemodelan dan perhitungan harus dilakukan secara berurutan dari kanan ke kiri yaitu dari posisi *exit point* menuju ke *entry point* atau posisi mesin HDD. Setiap bagian lurus harus dimodelkan dengan variabel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. (Watson, 1995) [4]

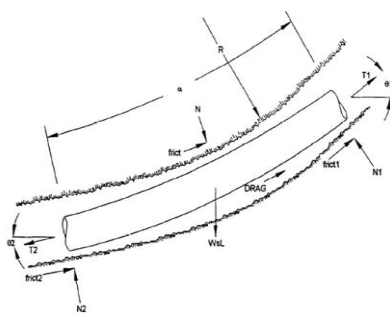


Gambar 1. Straight section model

$$T2 = T1 + IfrictI + DRAG + Ws \times L \times \sin\theta \quad (1)$$

2.3. Pulling Load Pipa Lengkung

Setiap bagian lubang melengkung yang dipilih pada profil lubang dapat dilihat pada Gambar 2 dengan variabel yang sama seperti bagian *straight section*, namun ditambah dengan variabel tambahan seperti yang telah didefinisikan dibawah ini. (Watson, 1995) [4]



Gambar 2. Curved section model

Radius lengkung minimum yang dapat digunakan tanpa terjadinya *overstressing* pada pipa dihitung dengan persamaan di Tabel 2.1 (McAllister, 2009) [2]

$$T2 = T1 + 2 \times [Frict] + Drag \pm Ws \times L \times \sin\theta \quad (2)$$

2.4. Total Pulling Load

Gaya total beban tarik (*pulling load*) diperlukan untuk menarik pipa melalui *borehole* adalah penjumlahan semua kebutuhan gaya baik lurus maupun bagian melengkung pada *pipeline*. [1]

$$Ttotal = \Delta T1 + \Delta T2 + \Delta T3 + \Delta T4 + \Delta T5 + \Delta T6 \quad (3)$$

2.5. Individual Stress

Untuk setiap lokasi yang dipilih dalam profil *drill path* yang diduga menjadi lokasi *critical stress*, pertama menghitung tekanan individu untuk kondisi tertentu loading (*tensile, bending, Hoop Stress*). (owowa, 2016) [3]

1. **Tensile Stress**
 $f_t = T/A \quad (4)$

2. **Bending Stress**
 $f_b = (E \times D)/(24 \times R) \quad (5)$

3. **Hoop Stress**
 $f_h = (\Delta p \times D)/(2 \times t) \quad (6)$

2.6. Combined Stress

Untuk kombinasi pemuatan dilakukan dengan dua pengecekan. Pertama adalah *dual load condition (tension plus bending)* dan kedua pengecekan penuh *interactive load* untuk *tensile, bending* dan *hoop stresses*. Pengecekan dilakukan untuk mencegah kegagalan akibat *overstress* atau tekuk dengan cara melakukan kombinasi perhitungan dari setiap installation stress. (Willoughby, 2005) [5]

1. **Tensile stress dan Bending Stress**
 $\left(\frac{\sigma_t}{0.9 \times SMYS}\right) + \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_{ballow}}\right) < 1 \quad (7)$

2. **Tensile stress, Bending Stress, dan Hoop Stress**
 $A^2 + B^2 + (2 \times v \times |A| \times B) < 1 \quad (8)$

Dimana

$$A = (\sigma_t + \sigma_b - (0.5 \times \sigma_h)) \times \left(\frac{1.25}{SMYS}\right) \quad (9)$$

$$B = \frac{1.5 \times \sigma_h}{Fhc} \quad (10)$$

$V = \text{poisson ratio (0.3 for steel)}$

2.7. Operating Stress

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

1. Hoop Stress

Tegangan *Hoop* adalah tegangan yang dihasilkan dari tekanan fluida dalam pipa dan bekerja ke arah circumferential. Nilai tegangan hoop menyesuaikan nilai ketebalan dinding suatu *pipeline* yang mempengaruhi tekanan internal. (Watson, 1995) [4]

$$\sigma_H = \frac{(P_i - P_e) \times D}{2 \times t} \quad (11)$$

2. Tegangan Thermal

Perbedaan temperatur instalasi dan operasi memungkinkan terjadi pemuaian atau pengerutan pada pipa. Pipa yang memuai akan menyebabkan pipa tersebut mengalami tegangan longitudinal ekspansi *thermal*. (ASCE, 2005)[1]

$$\sigma_T = (E \alpha) \times (T_2 - T_1) \quad (12)$$

3. Tegangan Bending

Pipeline yang tertanam dalam tanah memiliki *natural support* berupa permukaan tanah pada dasar *pipeline*. Dalam beberapa kasus, permukaan dasar tanah pada *pipeline* tidak selalu rata. Sehingga, kemampuan *pipeline* untuk mengikuti kontur tanah secara alami menyebabkan tegangan searah longitudinal akibat *bending pipeline*. (Watson, 1995) [4]

$$\sigma_b = (E \times D) / (2 \times R) \quad (13)$$

2.8. Tegangan Longitudinal

$$\sigma_L = \sigma_P + \sigma_T + \sigma_B \quad (14)$$

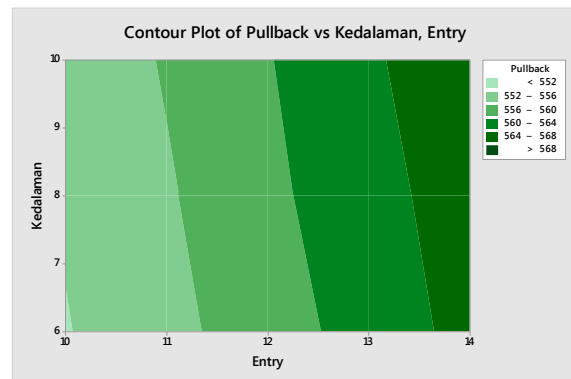
4. Maximum Shear Stress

Combined Stress dapat dianalisis dengan menghitung tegangan geser maksimum (Maximum Shear Stress) pada elemen kecil di dalam pipa. Tekanan geser maksimum ini harus dibatasi hingga 45% dari SMYS dari pipa. (Watson, 1995) [4]

$$\sigma_{Max\ Shear} = \frac{\sigma_{Hoop} - \sigma_{Longitudinal}}{2} \quad (15)$$

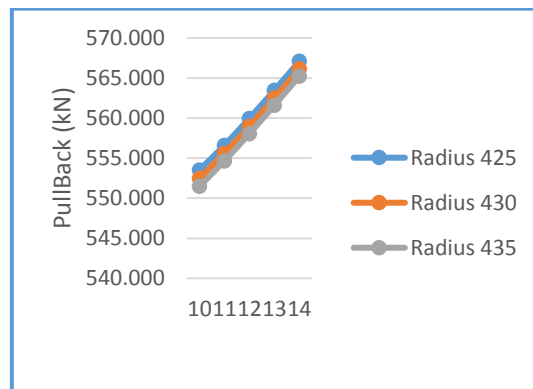
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pulling Load



Gambar 3. Grafik Area Pulling load

Pada gambar 3 untuk memperoleh hasil *pulling load* maka hal pertama adalah menentukan kedalaman serta sudut *entry* yang diinginkan, dari langkah tersebut maka dapat diperoleh nilai *pulling load* dengan bentuk degradasi warna, nilai pada degradasi warna tersebut menunjukkan nilai *pulling load* dengan satuan kN .

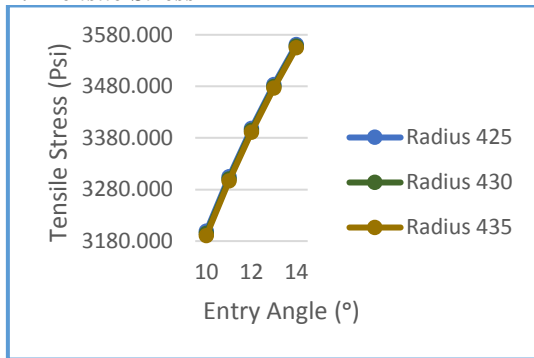


Gambar 4. Grafik Hubungan Sudut Entry dan Radius Natural Bend terhadap Pulling Load

Pada gambar 4 dapat diketahui bahwa semakin besar sudut *entry* maka semakin besar nilai *pulling load*, namun sebaliknya semakin besar *radius natural bend* maka semakin kecil nilai *pulling load* hal tersebut disebabkan adanya penambahan panjang pada tiap *segment*.

3.2. Perhitungan Individual Stress

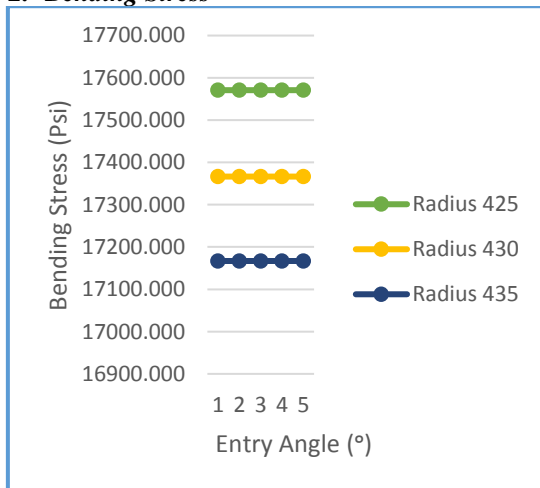
1. Tensile Stress



Gambar 5. Grafik Hubungan Sudut Entry dan Radius Natural Bend Terhadap Tensile Stress

Pada gambar 5 dapat diketahui semakin besar radius natural bend maka nilai tensile stress akan mengalami penurunan karena panjang tiap segment akan mengalami perubahan, sehingga beban yang diterima juga mengalami perubahan.

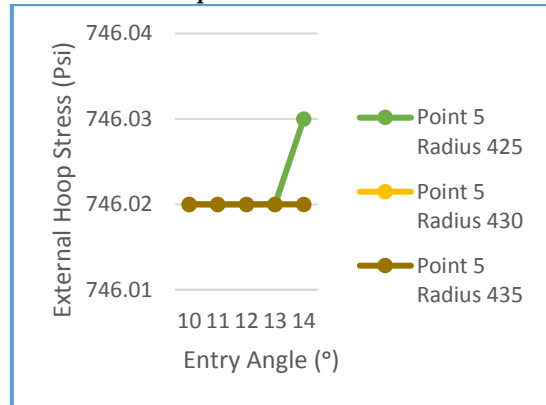
2. Bending Stress



Gambar 6. Grafik Hubungan Sudut Entry dan Radius Natural Bend terhadap Bending Stress

Pada gambar 6 dapat diketahui bahwa semakin besar radius natural bend maka semakin kecil nilai bending stress yang, hal tersebut dikarenakan rumus yang digunakan membagi hasil perkalian nilai young modulus dan diameter dengan radius natural bend, sehingga semakin besar radius natural bend maka nilai bending stress makin kecil.

3. External Hoop

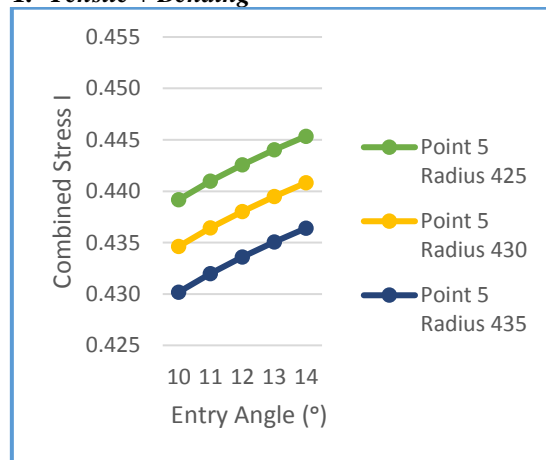


Gambar 7. Grafik Hubungan Sudut Entry dan Radius Natural Bend terhadap External Hoop

Pada gambar 7 dapat diketahui bahwa semakin besar sudut entry, maka tidak berpengaruh terhadap nilai external hoop stress, namun untuk variasi kedalaman sangat berpengaruh terhadap nilai external hoop stress di point 3 dan point 5.

3.3. Combined Stress

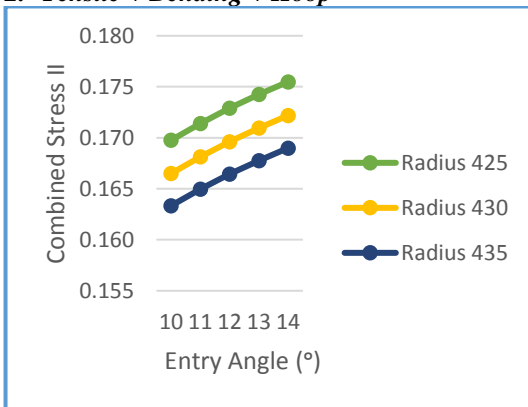
1. Tensile + Bending



Gambar 8. Grafik Hubungan Sudut Entry dan Radius Natural Bend terhadap Combined Stress I

Pada gambar 8 dapat diketahui bahwa semakin besar sudut entry maka semakin besar nilai combined stress I, namun semakin besar radius natural bend maka nilai combined stress I akan menurun. Hal tersebut diakibatkan karena semakin besar radius natural bend maka nilai bending stress dan tensile stress nya menurun, sehingga akan mempengaruhi nilai combined stress I.

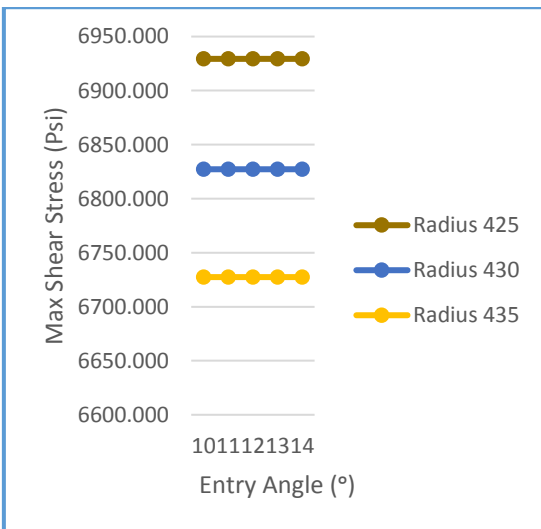
2. Tensile + Bending + Hoop



Gambar 9. Grafik Hubungan Sudut Entry dan Radius Natural Bend terhadap Combined Stress II

Pada gambar 9 dapat diketahui bahwa semakin besar sudut *entry* maka semakin besar nilai *combined stress II*, namun semakin besar *radius natural bend* maka nilai *combined stress II* akan menurun. Hal tersebut diakibatkan karena semakin besar *radius natural bend* maka nilai *bending stress* dan *tensile stress* nya menurun, sehingga akan mempengaruhi nilai *combined stress II*.

3.4. Operating Stress



Gambar 10. Grafik Hubungan Sudut Entry dan Radius Natural Bend terhadap Operating Stress

Pada gambar 10 dapat diketahui bahwa semakin besar sudut *entry* maka tidak berpengaruh terhadap besar nilai *maximum shear stress*. Namun semakin besar *radius natural bend* maka nilai dari *maximum shear stress* akan mengecil. Hal tersebut disebabkan karena nilai untuk *bending stress* akan mengecil sehingga nilai pada *longitudinal stress* makin mengecil yang akan mengakibatkan nilai pada *maximum shear stress* juga ikut mengecil.

3.5. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Hasil desain yang diperoleh dari variasi sudut *entry*, sudut *exit*, radius natural bend dan kedalaman akan menciptakan panjang total jalur HDD yang berbeda. Pada desain 1 diambil jalur HDD terpanjang sebesar 444.397m yaitu pada sudut *entry* 14°, sudut *exit* 10°, *radius natural bend* 425m, dan kedalaman 10m, sedangkan pada desain 2 diambil jalur HDD terpendek sebesar 442.864m yaitu pada sudut *entry* 10°, sudut *exit* 8°, *radius natural bend* 435m dan kedalaman 6m.

Tabel 2. Total Biaya

No	Desain	Harga Pipa
1	Desain 1	Rp 1.890.000.000
2	Desain 2	Rp 1.864.800.000

No	Desain	Harga Instalasi
1	Desain 1	Rp 2.664.000.000
2	Desain 2	Rp 2.658.000.000

No	Desain	Harga Total
1	Desain 1	Rp 4.554.000.000
2	Desain 2	Rp 4.522.800.000

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan *pulling load* yang paling efektif terdapat pada *design* sudut *entry* 10°, sudut *exit* 10°, dan *radius natural bend* 435 m sebesar 123296.824 lb. Berdasarkan hasil perhitungan tegangan instalasi dan operasi masih dibawah nilai *allowable*, tegangan instalasi diantaranya meliputi tegangan *tensile* sebesar 3171.211 Psi, *bending* sebesar 17166.896 Psi, *external hoop* sebesar 746.02 Psi, *combined I* 0.43, *combined II* sebesar 0.163, sedangkan tegangan operasi yang diwakilkan dengan perhitungan *max shear stress* sebesar 6727.408 Psi. pada *design* sudut *entry* 10° sudut *exit* 10° dan *radius natural bend* 435 m menghabiskan biaya Rp 4.522.800.000 dan nilai *pulling load* sebesar 123296.824 lb

5. PUSTAKA

[1] ASCE. (2005). *Pipeline Design for Installation by Horizontal Directional Drilling*. Reston (Virginia): American Society of Civil Engineering.

[2] McAllister, W. (2009). *Pipeline rules of thumb handbook, seventh edition*. United

States of America: Gulf Professional
Publishing.

- [3] owowa, r. o. (2016). Analyses of Pipelines for Deep Horizontal Directional Drilling Installation. *American Journal of Mechanical Engineering*, 153-162.

- [4] Watson, P. (1995). *Installation of Pipelines by Horizontal Directional Drilling An Engineering Design Guide*. Huston,Texas: Pipeline Research Council International.

- [5] Willoughby, D. A. (2005). *Horizontal Directional Drilling* . New York: The Mc Graw-Hill Companies.