

PERENCANAAN DENGAN *HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING* (HDD) UNTUK MEMASANG *PIPELINE* DIBAWAH SUNGAI KALIMAS

Oleh:

Sudiyono¹, Hariyanto²

Dosen Jurusan Pemesinan, PPNS - ITS

E-mail: sudiyonod3@yahoo.co.id, bendoyo_hgr@yahoo.com

Abstract. Supply of aviation fuel to the pile tank in DPPU Juanda still done by bridger/Skid-Truck, where the distance delivery of aviation fuel from ISG Tj. Perak – DPPU Juanda carried through as far as 35 km. Replacement of the transport system of Briger / Skid Truck by transport through the pipeline aims to avoid congestion, the increase losses, and the required for additional facilities so as to anticipate future business competition, especially in terms of the sale of aviation fuel. Truck the delivery of aviation fuel pipeline through some of them crossing rivers, highways, or railroads. This study takes the point of crossing the river Kalimas Surabaya on Horizontal Directional Drilling (HDD) method. Horizontal directionally drilled is one method that is suitable for applications crossing the river using horizontal drilling technology that direction and the curvature occurs when the drilling process. The result of research produce planning report before installation of avtur pipeline with Horizontal Directional Drilling (HDD) method, construction of avtur pipeline and know the pulling load and stress value of as the effect of pulling by Horizontal Directional Drilling machine.

Keyword: supply avtur, crossing river, horizontal directional drilling

Abstrak. Selama ini proses pengiriman bahan bakar avtur untuk transportasi udara pada DPPU Juanda menggunakan kendaraan truck, dimana bahan bakar tersebut harus dikirim dengan jarak antara ISG Tj. Perak - DPPU Juanda sekitar 35 km. Untuk mengganti pengiriman bahan bakar yang selama ini menggunakan truck dengan pipa bertujuan untuk menghindari kemacetan jalan raya sehingga akan menimbulkan kerugian dan keterlambatan pengiriman. Untuk mengantisipasi persaingan bisnis yang semakin meningkat, terutama dalam hal penjualan bahan bakar avtur. Dalam pemasangan pipa tersebut akan melewati sungai, jalan raya rel kereta api, perumahan dan lain-lain. Dalam penelitian ini mengambil focus pada pemasangan pipa yang melalui sungai Kalimas Surabaya dengan metode *Horisontal Directional Drilling* (HDD). Metode Horisontal Directional Drilling adalah salah satu metode yang cocok untuk pemasangan pipa menyeberangi sungai dengan menggunakan teknologi pengeboran horizontal yang arah dan kelengkungannya terjadi pada proses pengeboran. Hasil penelitian berupa laporan perencanaan pemasangan pipa avtur dengan metode *Horisontal Directional Drilling* (HDD), pembangunan pipa avtur dan mengetahui beban dan efek nilai stress dengan mesin *Horisontal Directional Drilling*.

Kata Kunci: pasokan avtur, melintasi sungai, *horisontal directional drilling*

Bandara Juanda Surabaya merupakan salah satu bandara Internasional di Indonesia dan memiliki lokasi yang secara geologis sangat strategis sebagai titik sentral bagi pengembangan Kawasan Indonesia Timur. Kebutuhan BBM berupa Avtur disupply

oleh Depot Pengisian Pesawat Udara (DPPU) Juanda. Operasi pengisian bahan bakar pesawat udara dilaksanakan melalui *Fuel Suplay system* dari tangki ke Apron yang saat ini, mencapai angka penjualan sebesar 300 Ribu KL atau ekuivalen dengan

10,1 % dari *Throughput* Pertamina secara keseluruhan (TOR Pertamina, 2010). Sumber avtur berasal dari Instalasi Surabaya group (ISG) di Tanjung Perak, Surabaya Utara. Suplai Avtur ke tagki timbun di DPPU Juanda, masih dilakukan dengan *Bridger/Skid-Truck*, dimana mobil/truck tangki tersebut memuat Avtur dari ISG dan dibawa melalui jalur Perak-Juanda sejauh 35 Km untuk ditimbun didalam tangki DPPU juanda. *Bridger* tersebut dimiliki oleh transportir pihak ketiga, yang memiliki potensi resiko dan menimbulkan kerugian berupa: (1) Keterlambatan suplai akibat kemacetan kota Surabaya; (2) Peningkatan losses; dan (3) Perlunya fasilitas tambahan.

Pipanisasi dari perak untuk memompakan Avtur menuju tangki DPPU Juanda akan meniadakan pola transportasi melalui *Bridger*, sehingga ketergantungan dengan pihak ketiga dapat dihilangkan. Dengan media transportasi pipa ini, diharapkan adanya jaminan kontinuitas suplai dan kualitas Avtur dan mengantisipasi persaingan bisnis dimasa depan khususnya dalam hal penjualan Avtur. Di dalam dunia industri, perpipaan merupakan salah satu komponen yang sangat penting. Hampir seluruh fluida yang ada dalam sebuah industri dialirkan atau dipindahkan melalui sebuah sistem perpipaan. Namun, desain sebuah sistem perpipaan juga bergantung pada jenis fluida alir, tekanan, dan temperatur. Besar parameter tersebut berpengaruh pada nilai tegangan (*stress*) yang ditanggung oleh pipa, sehingga berakibat pula terhadap pemilihan metode pemasangan instalasi perpipaan. Setiap metode pemasangan instalasi system perpipaan atau pipeline akan mempunyai resiko terhadap utilitas lain yang sudah

terpasangan pada lokasi yang akan dibangun instalasi system perpipaan atau pipeline.

Riset pada *Final Project* ini mengambil sebuah masalah yang didapatkan di proyek pipanisasi avtur 8" x 35 km, yakni di PT. Barata Indonesia (persero) sebagai kontraktor, tepatnya instalasi pipeline dengan menggunakan pipa NPS 8 inch sch.40 (OD = 219,08 mm; ID = 202,722 mm; t = 8,179 mm). Dalam pemasangan pipeline tersebut melalui beberapa crossing diantaranya crossing jalan raya, kereta api dan sungai. Dalam *Final Project* ini merencanakan sebuah topik pembahasan mengenai perancangan *Horizontal Directional Drilling* (HDD), dimana dalam metode HDD ini digunakan untuk memasang jalur pipa avtur yang akan melalui sungai kalimas Surabaya. Lebar sungai yang akan dilalui jalur pipeline sejauh ± 420 meter dan pentingnya HDD digunakan agar proses pemasangan pipeline yang akan mengalami crossing sungai terpasang secara aman, efisien dan efektif. Perancangan HDD akan dijabarkan melalui beberapa faktor-faktor pendukungnya dan perhitungan stress pipa yang terjadi saat mengalami crossing sungai dengan metode HDD, sehingga perancangan HDD yang akan dilaksanakan sesuai dengan standart keamanan dan kelayakan untuk *crossing* sungai kalimas Surabaya.

Horizontal Directional Drilling

Jalur pipeline yang mengalami *Crossing* sungai, jalan raya dan kereta api memerlukan pertimbangan khusus yang tercakup detail baik dalam merencanakan design dan juga pada saat pemasangan langsung dilapangan. Pekerjaan *crossing* pipa harus melibatkan suatu instansi terkait dikarenakan area crossing tersebut

merupakan kawasan yang harus mendapatkan perhatian lebih dibandingkan dengan jalur pipeline yang berada disamping jalur sistem pipeline. Ijin dari lembaga atau instansi yang bersangkutan sebelum pelaksanaannya, perencanaan *crossing* harus dibuat berdasarkan pada teknik pengerjaan yang efisien dan meminimalkan bahaya yang dapat terjadi. Kegiatan pemasangan atau pelaksanaan pekerjaan *crossing* terlebih dahulu dikerjakan di beberapa titik dikarenakan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan *crossing* lebih lama dari pada pemasangan jalur pipeline yang berada di pinggir jalan raya. Sebelum pelaksanaan *crossing* harus dilakukan penelitian atau tinjauan dengan pemilik *property* atau lahan, hal ini dilakukan untuk menentukan dan mengetahui lokasi *crossing* pipa, garis utilitas, dan struktur bawah tanah yang lain, sehingga pekerjaan tidak mengganggu atau berbenturan dengan fasilitas yang telah ada.

Metode *Horizontal Directionally Drilled* (HDD) dilakukan oleh industri-industri yang bergeser dibidang *oil and gas* sejak pertengahan tahun 1980an, seiring perkembangan teknologi industri-industri yang bergerak dibidang *oil and gas* terus mengembangkan teknologi untuk meminimalkan biaya dalam pengiriman bahan pokok seperti minyak atau fluida-fluida. Tingginya resiko kecelakaan kerja dan padatnya transportasi darat mendorong industri-industri memilih menggunakan jalur pipeline. Salah satu metode yang digunakan dalam pemasangan pipeline adalah menggunakan metode *Horizontal Directionally Drilled* (HDD). *Horizontal Directionally Drilled* (HDD) adalah metode yang digunakan untuk pemasangan jalur pipeline

atau instalasi kabel yang akan melalui *crossing* jalur.

Aplikasi *Horizontal Directional Drilling*

Mengacu kepada keputusan menteri pertambangan dan energi Republik Indonesia Nomor 300.K/38/M.pe/1997 tentang keselamatan kerja pipa penyalur minyak dan gas bumi sehingga tingkat keamanan saluran pipa harus mendapatkan perhatian yang lebih untuk menghindari resiko terhadap kerusakan lingkungan ataupun manusia. Metode *Horizontal Directional Drilling* ini adalah metode yang paling pas digunakan dibandingkan dengan metode lainnya untuk pemasangan jalur pipeline yang akan melalui *crossing* Kalimas Surabaya. Aplikasi dari pemasangan dengan metode *Horizontal Directional Drilling* adalah sebagai berikut:

1. Lalu lintas perkotaan yang padat penduduk misalnya pada area jalan raya yang padat kendaraan atau kawasan tol yang rawan akan kecelakaan dan dibawah area jalan raya akan dipasang utilitas umum seperti pemasangan pipeline.
2. Pada kawasan perumahan/ pemukiman warga yang padat penduduk dan juga kawasan sentral usaha. Yang dibawah area kawasan tersebut akan dipasang jalur pipeline atau instalasi sistem perpipaan dimana pemilihan metode *Horizontal Directional Drilling* lebih menguntungkan daripada menggunakan metode lainnya.
3. Area sungai yang lebar dan jalur perlintasan kereta api.

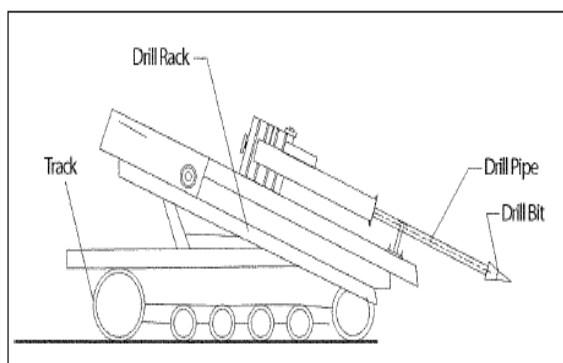
Proses *Horizontal Directional Drilling*

Komponen dasar dari sistem pengeboran *horizontal directional* meliputi:

(1) bor unit, (2) pedoman system, (3) cairan pemboran system, (4) pipa bor dan alat downhole, termasuk potongan-reamers kembali, dan (5) cairan pemboran mencampur atau daur ulang system.

Rig HDD terhubung ke bit pemotongan oleh string bor, yang terdiri individu sendi pipa. Reamers Kembali digunakan untuk meningkatkan diameter pilot lubang dengan ukuran yang dibutuhkan untuk menampung diameter pipa yang akan diinstal. Cairan pengeboran, umumnya dikenal sebagai lumpur, memainkan peran penting dalam pengeboran, kembali reaming, dan mundurnya produk. Sistem pencampuran cairan terpisah dari pengeboran. HDD sistem didefinisikan oleh *thrust* dan kekuatan mundurnya, dinyatakan dalam pound dan *spindle* torsi, dinyatakan dalam pound (ft).

Maksimum volume cairan pengeboran mesin dapat memompa per menit, dan poros putaran per menit Sebuah rig HDD khas digambarkan pada Gambar 1. Rig pengeboran HDD digunakan untuk mengebor dan rim lubang pilot dan menarik produk pipa kembali melalui lubang.

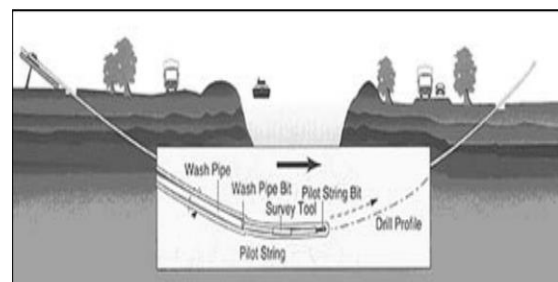


Gambar 1 Rig HDD

1. Pilot hole

Langkah pertama dalam instalasi HDD adalah melakukan pengeboran awal

dengan berhati-hati. Untuk memberikan mata bor dan kepala bor ke permukaan di titik keluar tertentu standart sudut yang digunakan dalam *pilot hole* ini sampai kedalaman yang diperlukan tercapai. Sebuah string bor berdiameter kecil didalam tanah di titik masuk yang ditentukan dan sudut entri desain, biasanya antara 8 dan 16 derajat. Untuk membantu mencegah batang bor keluar dari jalur desain yang ditentukan lubang *pilot hole* biasanya dimulai dengan kepala bor miring pada posisi pukul 6. Kemudian jalur bor secara bertahap dibawa ke arah horisontal, diikuti oleh tekukan lain sebelum mengarahkan ke titik keluar yang ditunjukkan, dimana bor dibawa ke permukaan. Diameter luar dan ketebalan dinding pipa bor memiliki keterbatasan yang mempengaruhi radius tikungan dari bor. Terlepas dari sistem pelacakan yang digunakan, tujuannya adalah untuk menemukan posisi yang sebenarnya dari kepala bor karena berlangsung sepanjang pilot bor jalan.



Gambar Error! No text of specified style in document.. Proses Pilot Hole

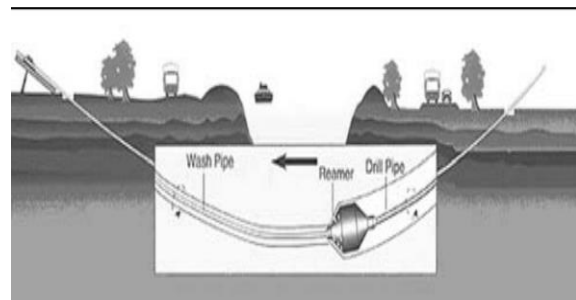
2. Reaming

Setelah lubang pilot berhasil dibor, langkah selanjutnya adalah memperbesar lubang mata bor dengan diameter mata bor yang sesuai dengan diameter pipa yang akan dilewatkan dalam jalur crossing. Sebagai contoh, jika pipa yang akan diinstal adalah 8 inci dalam diameter, lubang dapat diper-

besar sampai 12 inci atau lebih. Hal ini untuk reaming lubang untuk diameter yang lebih besar berturut-turut. Sementara kondisi tanah yang memiliki dampak, jumlah yang diperlukan adalah reaming yang berjalan terutama tergantung pada diameter pipa produk dan diameter *pilot hole*. Ini dapat bervariasi dari tidak berjalan reaming untuk beberapa pipa berdiameter besar. Salah satu metodenya, biasanya disebut lubang bor *continue*. Dalam beberapa situasi dengan diameter pipa kecil produk atau saluran, pipa dapat ditarik langsung ke lubang bor setelah selesai. Bagaimana pernah, dalam operasi HDD kebanyakan lubang bor harus *reamed* untuk memperbesar lubang untuk mengakomodasi menarik dalam pipa produk. Umumnya lubang bor adalah *reamed* untuk 1 1/2 kali diameter dibagi 25,4" luar dari pipa produk maka akan dihasilkan lebih 1,73" untuk penambahan diameter pipa produk. Setelah lubang pilot berhasil dibor, langkah selanjutnya adalah memperbesar lubang mata bor dengan diameter mata bor yang sesuai dengan diameter pipa yang akan dilewatkan dalam jalur crossing. Sebagai contoh, jika pipa yang akan diinstal adalah 8 inci dalam diameter, lubang dapat diperbesar sampai 12 inci atau lebih. Hal ini untuk reaming lubang untuk diameter yang lebih besar berturut-turut. Sementara kondisi tanah yang memiliki dampak, jumlah yang diperlukan adalah reaming yang berjalan terutama tergantung pada diameter pipa produk dan diameter pilot hole. Ini dapat bervariasi dari tidak berjalan reaming untuk beberapa pipa berdiameter besar. Salah satu metodenya, biasanya disebut lubang bor *continue*.

Dalam beberapa situasi dengan diameter pipa kecil produk atau saluran, pipa dapat ditarik langsung ke lubang bor

setelah selesai. Bagaimana pernah, dalam operasi HDD kebanyakan lubang bor harus *reamed* untuk memperbesar lubang untuk mengakomodasi menarik dalam pipa produk. Umumnya lubang bor adalah *reamed* untuk 1 1/2 kali diameter dibagi 25,4" luar dari pipa produk maka akan dihasilkan lebih 1,73" untuk penambahan diameter pipa produk.

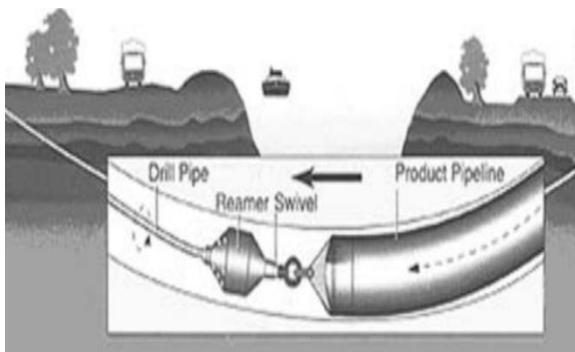


Gambar 2 Proses Reaming

3. Pull Back

Setelah lubang dibor diperbesar, pipa produk dapat ditarik melalui pullback. Sebuah alat untuk membesarkan lubang terpasang ke string bor dan kemudian terhubung ke kepala bor untuk menarik pipa melalui gerakan putar. Gerakan putaran ini untuk mencegah setiap rotasi membesarkan lubang ke dalam pipa string, memungkinkan untuk kelancaran tarik ke dalam lubang yang dibor. Pipa produk harus didukung untuk operasi mundurnya. Hal ini biasanya dicapai pada rol atau dengan beberapa jenis crane atau backhoe. Perhatian harus dieksekusi selama mundur untuk memastikan bahwa produk atau pelapisan pipa tidak rusak. Sering pada saat pullingback memisahkan diri yang dapat mengakibatkan kegagalan sebelum beban mundurnya melampaui batas aman dari produk pipa yang digunakan. Rig pengeboran kemudian mulai operasi mundurnya, berputar dan menarik pada string

bor dan sekali lagi beredar dengan volume tinggi. Mundurnya pipa berlangsung terus sampai membesarkan lubang dan pengeboran tanah pipa. Jika memungkinkan, harus ada ruang kerja yang cukup di sisi *pullingback* sehingga pipa produk dapat dirakit dalam satu panjang terus menerus. Hal ini mengurangi kemungkinan bahwa pipa mungkin terjebak selama operasi mundurnya. Sebuah skema proses mundurnya HDD ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3 Proses *Pullback*

4. Drilling and Steering

Pengeboran lubang melengkung dan horizontal memerlukan peralatan pengeboran khusus. Peralatan ini yang terkandung dalam perakitan bottom-lubang (BHA) yang terdiri dari alat pengeboran, membungkuk subassembly, dan alat kemudi/pelacakan. Pilot-lubang directional control dicapai dengan menggunakan string bor nonrotating dengan asimetris mutakhir. Asimetri hasil terdepan dalam bias kemudi. Ketika perubahan arah diperlukan, string bor diputar sehingga arah bias adalah sama dengan perubahan yang diinginkan arah. String bor mungkin juga terus diputar ketika kontrol arah tidak diperlukan. Ketika sebuah koreksi arah diperlukan, rotasi berhenti dan kepala pengeboran adalah preferentially berorientasi pada lubang bor. Lalu rig pengeboran mendorong string bor seluruh

maju. Sebagai miring pada wajah baji yang mendorong terhadap tanah, seluruh djemaah dibelokkan ke arah yang diinginkan. Setelah koreksi kemudi selesai, rotasi dilanjutkan sampai koreksi lain diperlukan. Pemadatan-jenis alat pengeboran yang paling sering digunakan dalam rig pengeboran mini dan midi ukuran untuk mengebor melalui lembut sampai sedang konsolidasi tanah serta pasir longgar dan padat. Kerugian utama dari motor lumpur adalah bahwa mereka lebih mahal dibandingkan dengan kepala pemadatan dan membutuhkan ratusan galon pengeboran cairan per menit.

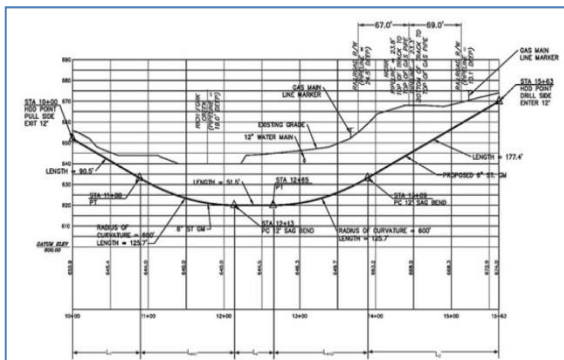
5. Tracking

Dalam aplikasi Tracking HDD adalah kemampuan untuk menemukan posisi, kedalaman, dan orientasi kepala pengeboran selama proses pengeboran. Kemampuan untuk secara akurat melacak bor sangat penting untuk penyelesaian proses pengeboran yang sukses. Jalan bor dilacak dengan mengambil pembacaan berkala kecenderungan dan azimut dari tepi string bor. Pembacaan dicatat dengan probe yang dimasukkan ke dalam bor sedekat mungkin dengan bor. Jenis tiga yang paling umum pelacakan alat-alat yang elektronik, kombinasi-ac magnetometer celerometer sistem, dan sistem navigasi inersia. Sebuah sistem terdiri dari bahan yg mudah pemancar, penerima, dan monitor jarak jauh. Sebuah bertenaga baterai pemancar terletak di perakitan lubang bawah dekat bagian depan dari string bor, itu memancarkan sinyal magnetik kontinyu. Penerima adalah portabel, genggam unit yang mengukur kekuatan sinyal yang dikirim oleh transmitter. Ini informasi yang digunakan untuk menentukan posisi kepala bor itu, kedalaman, dan orientasi. Monitor remote

adalah unit layar dipasang di rig pengeboran di depan operator. Ini menerima dan menampilkan informasi yang diberikan oleh penerima. Hal ini digunakan untuk navigasi kepala pengeboran di bawah permukaan. Data direkam untuk memberikan profil as-built dari jalan pengeboran. Ketika akses ke lokasi langsung di atas keselarasan bore-lubang tidak mungkin atau ketika kedalaman lubang melebihi 100 meter, jenis lain sistem navigasi harus digunakan.

Horizontal Directional Drilling stress analysis for steel product pipe

Langkah pertama dalam menghitung beban menarik estimasi adalah untuk mengembangkan input data yang akan digunakan dalam perhitungan. Data ini mencakup material produk-pipa properti, pengeboran cairan-properti, dan faktor-faktor kode atau desain yang berlaku. Contoh dari data input yang diperlukan untuk menghitung diperkirakan menarik beban yang diberikan dalam Contoh 2.29 memberikan contoh jalan pengeboran.



Gambar 5 Bore-Path Example

1. Calculation

Untuk semua bagian yang lurus ketegangan di T2 dihitung dari gaya statis keseimbangan berikut.

$$T_2 = T_1 + |Fric| + DRAG \pm W_s * L * \sin \theta$$

keterangan:

T2 = tegangan (atau beban tarik) di sisi rig dari bagian lurus diperlukan untuk mengatasi hambatan dan gesekan dalam pound.

T1 = tegangan (atau menarik beban) pada sisi pipa dari bagian lurus, biasanya diasumsikan menjadi nol, dalam pound.

| Fric | = gesekan antara pipa dan tanah dalam pound.

Tombol + / - panjang adalah (-) jika T2 downhole, (+) jika T2 uphole, dan (0) jika lubang adalah horisontal.

$$| Fric | = W_s * L_1 * \cos (\theta_{s1}) * \mu_{soil}$$

keterangan

DRAG = drag fluidic antara pipa dan cairan pengeboran dalam pound.

$$DRAG = \Omega * D * L_1 * \mu_{soil}$$

Dimana:

WS = banyak berat (terendam) efektif pipa ditambah isi internal (jika berisi air)

L1 = panjang bagian lurus di kaki

π = sudut bagian relatif lurus terhadap bidang horizontal (nol adalah horizontal dan 90 derajat vertikal)

μ_{soil} = banyak koefisien rata-rata gesekan antara pipa dan tanah, yang direkomendasikan nilai 0,21-0,30 (Maidla)

μ = koefisien cairan-tarik untuk pipa baja ditarik melalui lumpur pengeboran, yang nilai yang direkomendasikan adalah 0,025-0,05

D= diameter luar pipa dalam inci.

Bagian melengkung dimodelkan sebagai tiga titik balok. Untuk pipa bengkok agar sesuai dengan lubang bor harus membungkuk cukup untuk menempatkan

pusat pada titik yang mencerminkan perpindahan (h) dengan rumus:

$$h = R * \left[1 - \cos\left(\frac{\theta_{c1}}{2}\right) \right]$$

Metode ini tidak sepenuhnya akurat, namun, karena tujuannya adalah untuk menentukan banyaknya kontak normal dan kemudian menghitung gaya gesek, itu adalah diterima estimasi. Komponen vertikal dari berat terdistribusi dan busur panjang bagian pipa yang digunakan untuk menemukan N. Dari Roark's2 solusi untuk elastis balok defleksi:

$$N = \frac{T * h - W_s * \cos\left(\frac{\theta_d}{2}\right) * Y}{X}$$

Dimana:

$$X = 3 * \frac{L_{arc}}{12} - \left(\frac{j}{2}\right) * \tanh\left(\frac{U}{2}\right)$$

$$Y = 18 * \left(\frac{L_{arc}}{12}\right)^2 - j^2 * \left(1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{U}{2}\right)}\right)$$

$$j = \left(E * \frac{1}{T}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$I = \Omega * (D - t)^3 * \frac{t}{8}$$

$$U = \frac{L_{arc}}{J}$$

Keterangan :

E = Modulus Young
untuk baja (2,9 x 10⁷ psi).

t = tebal dinding pipa dalam inci

Persamaan ini keduanya membutuhkan nilai untuk T, yang merupakan nilai rata-rata. T₂ dan T₃. Hal ini memerlukan iteratif solusi untuk memecahkan T₃. Salah satu metode untuk mengubah T variabel untuk nilai rata-rata diasumsikan dan memecahkan masalah sampai keakuratan yang diperlukan diperoleh. Nilai rata-rata diasumsikan T harus dalam waktu 10 persen dari rata-rata aktual dari T₂ dan T₃, dengan rumus:

$$T_{avg} = \frac{T_2 + T_3}{2} \text{ and } \frac{T_{avg} - T_{avgassumed}}{T_{avgassumed}} * 100$$

Harus dengan 10 persen. Jika tidak berada dalam 10 persen menggunakan nilai diasumsikan baru untuk T_{avg} dan memecahkan lagi. menggunakan computer program ini membuat tugas yang relatif mudah. Untuk Fric bagian lengkung menjadi:

$$\text{fric} = |N * \mu_{soil}|$$

Reaksi pada akhir bagian lengkung diasumsikan N / 2, dan akhir gaya gesek diasumsikan Fric / 2. Untuk nilai-nilai positif dari N (didefinisikan sebagai ke bawah bertindak seperti pada Gambar 6-4) perlawanan lentur dan / atau daya apung dari pipa cukup untuk memerlukan gaya normal bertindak terhadap bagian atas lubang agar pipa untuk memindahkan ke bawah dengan jumlah yang sama untuk h. Dimana N adalah negatif, berat pipa terendam cukup untuk membawa pipa untuk bagian bawah melengkung bagian, di mana gaya ke atas-acting biasa dirasakan pada titik kontak. tanpa memperhatikan dari nilai N, semua nilai gesekan positif, bertindak sebagai oposisi terhadap T₃. Pasukan diperkirakan bertindak sepanjang jalur melengkung pipa ditambahkan sebagai jika mereka bertindak dalam garis lurus. Sebagai hasil T₃ menjadi:

$$\Delta T_3 = 2 * |\text{fric}| + \text{DRAG} \pm W_s * L_{arc} * \sin\left(\frac{\theta_{c1}}{2}\right)$$

Beban pada titik 3 kemudian menjadi $\Delta T_3 + T_2$ dalam kekuatan pon.

METODE PENELITIAN

Desain Perencanaan

Pipa avtur dengan diameter 8” sesuai dengan rencana kerja untuk mengalirkan

avtur dari ISG Tanjung Perak ke DPPU Juanda sebagai pengganti dari system yang lama yaitu trucking line, untuk mendapatkan kapasitas transfer avtur sekitar 200 KL/Jam. Tabel 1 memperlihatkan data desain perencanaan untuk pipa avtur.

Tabel 1 Desain Perencanaan

No	Description	Unit	Data
1	Diameter pipa terluar	mm	219
2	Service	-	Avtur
3	Design code	-	ANSI B31.4
4	Material pipeline		Carbon steel
5	Grade		API 5L X 42 (PSL 2)
6	Pipeline fabrication		c
7	Panjang pipeline	km	+ 33,5
8	Umur design pipeline	years	20
9	Design factor	-	0,72
10	Minimum nominal wall thickness	mm	8,18 (sch.40)
11	Internal corrosion allowance	mm	0
12	External corrosion allowance	mm	0
13	Pipeline system rating	ASME	#600
14	Flow rate	BOPD	30191
15	Design pressure = $1,5 \times mawp$ ($1,5 \times \max. disc. press. pump$)	Kg/cm ²	($1,5 \times 64,27$) = 96,405
16	Operating pressure = discharge press. transfer pump	Kg/cm ²	64,27
17	Hydrotest pressure = $1,25 \times$ design pressure	Kg/cm ²	120,506
18	Design temperature (at km 0,00)	^o c	30
19	Operating temperature (at km 33,5)	^o c	20
20	Charpy impact testing temp.	^o c	0
21	Internal coating pipeline	-	high epoxy resin 300 micron
22	External coating pipeline	-	FBE 400 micron, Adhesive 300 micron Polyethilene 1800 micron
23	External protection	-	Cathodic Protection, Sacrificial Anode
24	Cathodic protection desain life	Years	20
25	Pipeline insulation		No

Perencanaan pekerjaan HDD perlu memperhatikan sudut bor juga harus dilakukan secara terperinci agar sudut kelengkungannya sesuai dengan kedalaman

pipa yang direncanakan, sehingga titik keluar mesin HDD tidak menabrak utilitas lain (pipa gas). Tabel 2 memuat data rencana implementasi pekerjaan HDD.

Tabel 2 Data Perencanaan Desain HDD

No	Perencanaan	Hasil Actual
1	Pipeline section	From 14+002 KM sampai 14+450 KM
2	Average depth	15 meter
3	Average Width	-
4	Horizontal Directional Drilling	448 meter
5	Treching	By heavy Machine
6	Bed Surface Soil	Soft
7	Complete Treching	Accepted

Penempatan mesin HDD perlu memperhatikan beberapa faktor untuk mempermudah pekerjaan HDD. Lahan kosong dan tidak berada diperkampungan merupakan faktor utama dalam peletakan peralatan agar pelaksanaan HDD tidak mengganggu kepentingan lain. Sumber air juga penting dalam aplikasi HDD untuk membuat adukan betonit dan air yang berfungsi untuk mengeraskan bagian dinding lubang bor agar pipa avtur mudah masuk saat penarikan dengan mesin HDD. Gambar 6 memperlihatkan lokasi penempatan mesin HDD yang dilihat dari atas.



document..1 Perencanaan Penempatan
Gambar 6. Peta Lokasi Pemasangan Sistem
HDD (Sumber: survai lapangan, 2012)

Untuk mempermudah pekerjaan HDD perencanaan elevasi untuk setiap titik

perlu dilakukan. Tujuan dari menentukan titik adalah untuk mempermudah operator mesin HDD terhadap elevasi kedalaman mesin bor HDD yang masuk agar pipa berada pada posisi yang sesuai rencana. Pada Gambar 7 disajikan tabel perencanaan elevasi titik untuk crossing HDD.

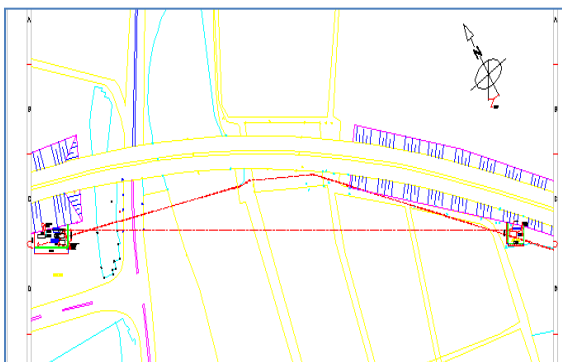


Gambar 7 Typical Mini Rig

Tabel 3 Perencanaan Ukuran elevasi Lengkungan Pipa

STATION	0+00	0+05	0+10	0+15	0+20	0+25	0+30	0+35	0+40	0+45	0+50	0+55	0+60	0+65	0+70	0+75	0+80	0+85	0+90	0+95	1+00
DESIGN	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
ACTUAL	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
PIPE ELEVATION	6.00	9.99	11.85	13.47	14.51	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	14.54	13.63	12.07	10.00	7.24	3.94	-0.72		
SURFACE ELEVATION	4.25	9.99	11.45	13.21	14.65	15.51	15.86	15.72	14.71	14.71	14.71	14.71	14.35	13.39	11.84	9.71	7.01	3.71	0.00		
PIPE DEPTH	-3.62	-2.94	-2.41	-1.67	-1.65	-4.61	-3.12	-1.28	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23

(Sumber : Data Actual HDD, 2012)



Gambar 8. Rencana Ruang Kerja Operator HDD

Ruang kerja HDD harus memadai untuk operasi HDD. Jika perlu, rig dapat diinstal di ruang kerja dari ukuran 50 dengan 100 ft. Namun jika ruang kerja kecil

akan membatasi ukuran dan kemampuan dari rig pengeboran. Desain penempatan dari mesin dan peralatan HDD akan direncanakan sesuai ilustrasi Gambar 8.

PEMBAHASAN

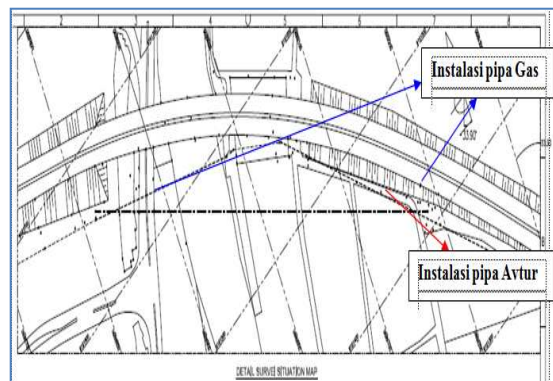
Pengujian Tanah dan Tes Pit

1. Pegujian Tanah

Tujuan pengujian tanah adalah untuk mengetahui keadaan tanah dan stratifikasinya dan mendapatkan property tanah secara langsung. Property tanah digunakan sebagai perbandingan terhadap banyaknya betonit dan air yang dicampurkan. Pengujian tanah ini merupakan pemetaan termasuk eksplorasi bawah tanah dengan cara tiga titik boring sedalam 15 m. Tabel 4 menjelaskan kilometer pipa yang dikonstruksi dan panjang pipa dalam satuan meter. Letak HDD crossing Kalimas pada kilometer 14,675 sampai dan kilometer 15,675 dan kedalaman mencapai 15 meter. Hasil survai dilapangan menunjukkan data topografi area jalur HDD pada Tabel 4.

Tabel Error! No text of specified style in document. Hasil Topografi di Area HDD

Lokasi Topografi	Skala	Interval jarak (m)
1 Site Peralatan	1 : 500	10
2 Bibir Sungai Kalimas	1 : 500	10 - 20
3 Jalan Raya	1 : 500 dan 1 : 1000	10 - 25
4 Perlintasan Lalu Lintas	1 : 500	10
5 Gedung dan Fasilitas Lain	1 : 1000	10



Gambar 9 Detail Survai Map

Tabel 4 menunjukkan map hasil survai untuk lokasi HDD yang melalui titik crossing dengan instalasi pipa gas yang dibuat oleh Pertagas. Pipeline jalur pipa avtur dibuat lurus dengan dua titik crossing dan tidak mengikuti jalur pipa gas yang ada disepanjang jalan dengan pertimbangan jarak terpendek.

Hasil pengujian tanah untuk Crossing Kali Mas, 14+350 sd 14+700 dijelaskan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Pengujian Tanah

NO	Soil Description	Kedalaman (m)
1	Tanah urug	0-1
2	Lempung lunak	1-2
3	Pasir halus, hitam	2-5,5
4	Lempung lunak	5,5-15

Deskripsi hasil pengujian tanah pada kedalaman 5,5-15 meter adalah sebagai berikut :

- Pengeboran HDD dapat dilakukan menembus tanah lempung lunak, dan pasir halus yang tidak padat. Pengeboran harus kompresibilitas tanah yang dilalui pipa horizontal termasuk kedalaman pengeboran.
- Lokasi sekitar Kalimas permukaan tanah terurug sirtu. Tanah dasar yang berupa endapan lempung yang mantap (firm) sampai endapan lempung yang kaku (stiff). Secara merata, kontur tanah didapati sisipan pasir medium kasar pada kedalaman 4-7m, meskipun tebal tidak merata.

2. Tes Pit

Bersamaan dengan kegiatan survai yang juga dilakukan adalah tes pit. Tes pit menyusun pengujian untuk mengetahui utilitas atau fasilita lain yang telah ada dan tingkat resiko yang perlu dipertimbangkan agar pipa avtur yang terpasang dipasang aman terhadap semua utilitas. Posisi tes pit

ditentukan 9 titik sondir dan 3 titik boring yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Lokasi Dan Struktur/ Bangunan

Lokasi	Struktur / bangunan	Notasi
Sondir		
0 + 000	Pondasi pig launcher	S8
0 + 000	Pondasi pompa, travo	S9
03 + 350	Camber block valve I	S5
03 + 450	Jembatan pipa boezem Utara	S4
	Jembatan pipa boezem Selatan	S1
04 + 300		
05 + 325	Camber block valve II	S3
14 + 450	Camber block valve III	S2
24 + 550	Camber block valve V	S6
34 + 300	Pondasi pig receiver, seperator, filter	S7
Boring		
5 + 175	HDD crossing Kali Greges	B1
14 + 700	HDD crossing Kali Mas	B2
14 + 500	HDD crossing Kali Mas	B3

Proses tes pit dilakukan dengan menyusuri lokasi jalur pipa avtur menggunakan alat deteksi. Setelah diketahui adanya utilitas dan blok valve maka posisi entry HDD diambil jarak minimum 2 meter dari lokasi blok valve milik Petragas. Lokasi tes pit dilakukan pada 3 titik lokasi yang dijelaskan pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Tes Pit

No	Lokasi Tes Pit	Alasan Pemilihan Lokasi Tes Pit
1	Kilometer Pipa Petragas pada KM 45 sepanjang 300 M	Karena untuk jalur pipa avtur yang akan dipasang lokasi diatas tanah sempit untuk melakukan kegiatan konstruksi
2	Kilometer Pipa Petragas pada KM 46 sepanjang 100 M	Karena area crossing sungai dan jalan diluar tol untuk memastikan posisi pipa agar pada waktu pengeboran tidak mengenai pipa petragas
3	Kilometer Pipa Avtur pada KM 16 sepanjang 120 M	Karena posisi pipa petragas belok kearah jalan tol menuju Gresik sementara pipa avtur lurus menuju perak.

(Sumber : pengamatan langsung dilapangan, 2012)

Perhitungan Nilai Stress

Ketika pipa yang diinstal oleh HDD, sering mengalami beban tegangan tinggi, berat bending, dan tekanan fluida eksternal. Seringkali beban instalasi lebih berat dari beban layanan desain. Ketika memilih bahan pipa yang sesuai untuk instalasi HDD, perancang harus mempertimbangkan sifat pipa serta lubang-lubang profil. Kedua faktor ini harus dipertimbangkan bersama-

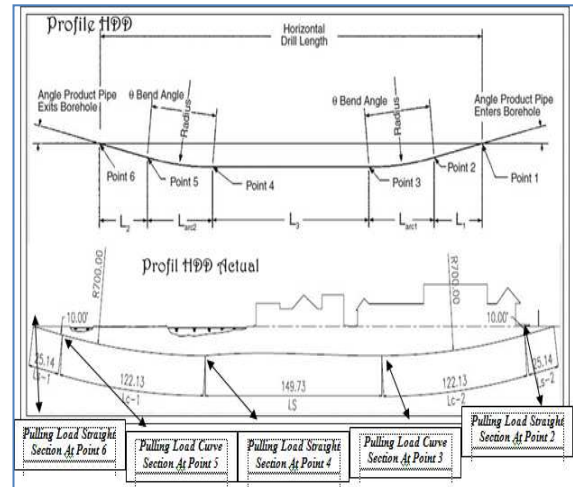
sama untuk memilih bahan terbaik dan profil terbaik sehingga pipa dapat diinstal dan dioperasikan tanpa resiko kerusakan. Untuk memastikan bahwa bahan dan lubang-lubang profil cocok untuk aplikasi yang diusulkan, instalasi, operasional, dan dikombinasikan beban dan tekanan. Tabel 8 Menyajikan data kebutuhan perhitungan pull load calculation and stress analisis kalimas Surabaya.

Tabel 8 Data perhitungan pull load calculation and stress analisis kalimas Surabaya

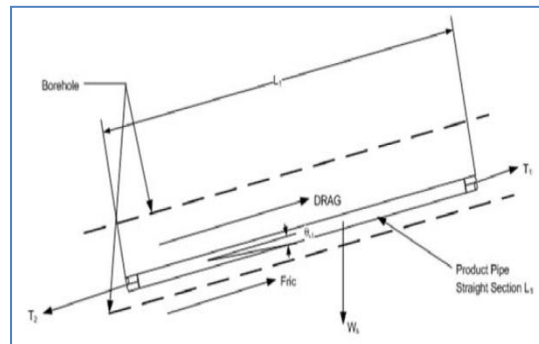
No	Parameter	Eq	Us Unit
1	Diameter Pipa Luar	D	8,625 in
2	Ketebalan pipa	t	0,322 in
3	Nilai minimum stress	SMYS	52000 psi
4	Code design factor	cd	1
5	Young modulus for steel pipe	E	29000000 psi
6	poisson's ratio	v	0,3
7	average coef of btwn pipe & soil	μ_{soil}	0,3
8	fluid drag coef untuk pipa terhadap mud concrete	μ_{mud}	0,05 f/in ²
9	mud weight value=12ppg	mudwt	62,84 f/ft ³
10	Effective submerge wght per foot + int cont	Ws	1,8104074 bf/ft
11	Pipe length straight sect 1-exit pit	Ls1	82,48 ft
12	Angle from hor for straight sect 1- exit pit	θ_{s1}	10 Deg
13	Angle from hor for curve sect 1- exit pit	θ_{c1}	10 Deg
14	Radius of curvature of curve sec 1, pipe side	R1	2297,0012 ft
15	Pipe length for curve sect 1- exit pit	Lc1	400,69910 ft
16	pipe length between bends	Ls	491,2440 ft
17	Angle frm hor between bends	θ_s	0 Deg
18	angle from hor curve sect 2- entry pit	θ_{c2}	10,000 Deg
19	Radius of curvature of curv sec 2, entry side	R2	2297,0012 ft
20	Pipe length for curve sect 2- entry pit	Lc2	400,69910 ft
21	Pipe length for strght sect 2- entry pit	Ls2	82,480315 ft
22	angle from hor straight sect 2- entry pit	θ_{s2}	10,000 Deg
23	Pipe length total	Ltot	1457,5990 ft
24	maximum load factor	fl	0,9
25	safety factor	fs	1,2
26	mud weight value	mudwt	8,4 ppg
27	allowable stress from code	Sa	37440 psi

Pipe Internal Volume (PIntVol) : 0,3472 ft³
 Displacement Weight (DmW): 25,485 lbf/ft
 Pipe Weight (PW) : 28,5775 lbf/ft
 Weight Submerged (Ws): 0924 lbf/ft

Panjang minimum radius of curvature: 417,5430 ft



Gambar 10 Profil HDD



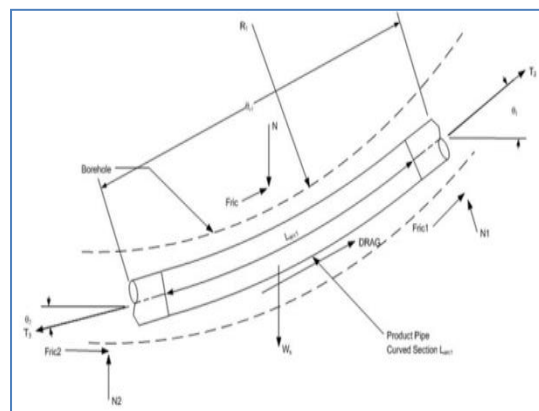
Gambar 11 Pulling Load Straight Section

Pulling Load Straight Section At Point 2

$$\Delta T = T_1 + |fric2| + DRAG2 + W_s \times L_{s1} \times \sin(\theta_{s1})$$

$$= 0 + 44,1163 + 1302,0265 + 3,0924 \times 82,48 \times \sin(10)$$

$$= 1372,0725 \text{ lbf}$$



Gambar 12 Pulling Load Curve Section

Pulling Load Curve Section At Point 3

$$\begin{aligned}\Delta T3 &= 2 \times |fric3| + DRAG3 + Ws \times Lc1 \times \sin(\Theta c1) \\ &= 2 \times 64,6838 + 6219,64405 + 1,8104074 \times 400,6991083 \times \sin(10) \\ &= 6412,2369 \text{ lbf}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T3 &= \Delta T3 + T2 \\ &= 7784,30949 \text{ lbf}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Tavg3 &= \left(\frac{T3 + T2}{2}\right) \\ &= 4578,1910 \text{ lbf} \\ Tavasm3 &= 8433 \text{ lbf}\end{aligned}$$

Pulling Load Straight Section At Point 4

$$\begin{aligned}\Delta T4 &= |fric4| + DRAG2 + Ws \times Ls \times \sin(\Theta s1) \\ &= 8433,09 \text{ lbf} \\ T4 &= \Delta T4 + T3 \\ &= 16217,4033 \text{ lbf}\end{aligned}$$

Pulling Load Curve Section At Point 5

$$\begin{aligned}\Delta T5 &= 2 \times |fric5| + DRAG5 + Ws \times Lc2 \times \sin(\Theta c2) \\ &= 7306,544 \text{ lbf} \\ T5 &= \Delta T5 + T4 \\ &= 23523,9476 \text{ lbf} \\ Tavg5 &= \left(\frac{T5 + T4}{2}\right) \\ &= 19870,675 \text{ lbf} \\ Tavasm5 &= 7307 \text{ lbf}\end{aligned}$$

Pulling Load Straight Section At Point 6

$$\begin{aligned}\Delta T6 &= |fric6| + DRAG6 + Ws \times Ls2 \times \sin(\Theta s2) \\ &= 1460,5354 \text{ lbf} \\ T6 &= \Delta T6 + T5 \\ &= 24984,483 \text{ lbf}\end{aligned}$$

Determine Maximum Pull Force, F

$$\begin{aligned}ID &= D \times 2t = 7,981 \text{ in} \\ Fb &= \left(\frac{E \times D}{24 \times R1}\right) = 4537,1655 \text{ psi} \\ A &= \left(\frac{\pi}{4}\right) \times (D^2 - ID^2) = 8,394 \text{ in}^2 \\ F &= \left(\left(\frac{SMYS \times fl}{fs}\right) - fb\right) \times A = 289315,4 \text{ Lbf}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Ttotal &= \Delta T2 + \Delta T3 + \Delta T4 + \Delta T5 + \Delta T6 \\ &= 24984,483 \text{ Lbf}\end{aligned}$$

Karena Pull Force 24984,483 Lbf < 289315,4 Lbf .

Maka Ttotal < Force maka Hasil Gaya Tarik mesin terhadap pipa dinyatakan sesuai, karena berat dari pipa yang telah disjoint < gaya tarik mesin HDD sehingga pemilihan Mini Rigs HDD adalah sesuai dan pipa dapat ditarik oleh mesin dengan aman.

Stress at Point 3 (Tensile Stress)

$$\begin{aligned}\text{Stress } T3 &= \frac{\Delta T3}{A} = 373,824387 \text{ psi} \\ \text{Allowable stress } t3 &= 0,9 \times SMYS = 46800 \text{ psi}\end{aligned}$$

Stress at Point 3 (Bending Stress)

$$\text{stress } B3 = \frac{E \times D \times 12}{24 \times R1} = 4537,16556 \text{ psi}$$

$$\text{Allowable stress } B3 = 0,7 \times SMYS = 37440 \text{ psi}$$

Stress at Point 3 (External Hoop Stress)

$$\begin{aligned}\text{depth3} &= (L1 \times \sin(\Theta s1)) + (R1 \times (1 - \cos(\Theta c1))) = 49,2191 \text{ ft} \\ \Delta p3 &= 3 \times \text{depth3} = 30,731820 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\text{stress } H3 = \frac{\Delta p \times D}{2 \times t} = 411,586880 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned}\text{allowable stress } H3 &= 0,45 \times SMYS + 0,18 \times (0,88 \times Ex \left(\frac{t}{D}\right)^2) \\ &= 29802,4576 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\text{allowable stress } \frac{H3}{1,5} = \frac{29802,4576}{1,5} = 19868,30507 \text{ psi}$$

Combine load interaction at point 3 (tensile and banding stress)

$$\begin{aligned}\text{stress } TB3 &= \left(\frac{\text{stress } T3}{0,9 \times SMYS}\right) + \left(\frac{\text{stress } B3}{\text{allowstress } B3}\right) \\ &= 0,129172\end{aligned}$$

Combine load interaction at point 3 (tensile, banding stress and bending stress)

$$\begin{aligned}A &= (\text{stress } T3 + \text{stress } B3 - (0,5 \times \text{stress } H3)) \times \left(\frac{1,25}{SMYS}\right) \\ &= 0,113105\end{aligned}$$

$$B = \left(\frac{1,5 \times \text{stress } H3}{\text{Allowstress } H3}\right) = 0,020715$$

$$\text{stress } TBH3 = A^2 + B^2 + 2 \times V|A| \times B = 0,014627 \text{ psi}$$

Stress at point 5 (tensile stress)

$$\text{stress } T5 = \frac{\Delta T5}{A} = 1371,41302 \text{ psi}$$

$$\text{Allowable stress } T5 = 0,9 \times SMYS = 46800 \text{ psi}$$

Stress at Point 3 (Bending Stress)

$$\begin{aligned}\text{stress } B3 &= \frac{E \times D \times 12}{24 \times R1} \\ &= 4537,16556\end{aligned}$$

$$\text{Allowable stress } B3 = 0,7 \times SMYS = 37440$$

Stress at point 5 (external Hoop Stress)

$$\begin{aligned}\text{depth5} &= (L2 \times \sin(\Theta s1)) + (R2 \times (1 - \cos(\Theta c2))) \\ &= 49,2191 \text{ ft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta p5 &= 5 \times \text{depth5} \\ &= 30,73 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{stress } H5 &= \frac{\Delta p \times D}{2 \times t} \\ &= 411,586880 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{allowable stress } H5 &= 0,45 \times SMYS + 0,18 \times (0,88 \times Ex \left(\frac{t}{D}\right)^2) \\ &= 29802,4576 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{allowable stress } \frac{H5}{1,5} &= \frac{411,586880}{1,5} \\ &= 19868,30507 \text{ psi}\end{aligned}$$

Combine load interaction at point 3 (tensile and banding stress)

$$\text{stress TB3} = \left(\frac{\text{stress T3}}{0,9 \times \text{SMYS}} \right) + \left(\frac{\text{stress B3}}{\text{allowstress B3}} \right) = 0,129172$$

Combine load interaction at point 3 (tensile, banding stress and bending stress)

$$A = (\text{stress T3} + \text{stress B3} - (0,5 \times \text{stress H5})) \times \left(\frac{1,25}{\text{SMYS}} \right) = 0,1370861$$

$$B = \left(\frac{1,5 \times \text{stress H5}}{\text{Allowstress H5}} \right) = 0,020715$$

$$\text{stress TBH5} = A^2 + B^2 + 2 \times |A| \times B = 0,020925 \text{ psi}$$

PENUTUP

Kesimpulan

Dari perencanaan dan konstruksi proses pemasangan pipa di bawah sungai kalimas didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perencanaan nilai perhitungan pulling load didapatkan T total < Force maka hasil gaya tarik mesin terhadap pipa sesuai standart.
2. Berdasarkan perencanaan jenis mesin HDD yang digunakan adalah mini rigg yang sesuai dengan besarnya berat tarikan pipa avtur mencapai 24.984,483 lbf, hal ini sesuai dengan karakter mini

ring HDD yang mampu menarik pipa kurang dari 40.000 lbf.

3. Konstruksi HDD yang terpasang dalam keadaan baik dan tidak merusak utilitas dari instalasi pipa gas yang telah ada sebelum pipa avtur terpasang.
4. Pengujian untuk mendapatkan kualitas pipa yang baik dan menghindari dari kebocoran dilakukan dengan beberapa pengujian diantaranya tes radiografi, tes hidrostatis, tes pigging dalam keadaan baik setelah mengalami beberapa repair apabila terdapat cacat konstruksi.
5. Pekerjaan HDD tidak merusak ekosistem didalam sungai Kalimas juga tidak menimbulkan kerusakan terhadap tanaman-tanaman dan kontur jalan raya dimana instalasi pipa avtur berada dibawah jalan raya, dan sungai Kalimas.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME. 2008. ASME B31.3-2008 (Revision of ASME B31.3-2006), *Process Piping, ASME Code for Pressure Piping*, The American Society of Mechanical Engineer, U.S.A.
- David A. Willoughby, 2005, *Horizontal Directional Drilling. Utility and Pipeline Application*.
- API. 2008. API 1104-2008 (Revision of API 1104-2006), *Process Piping, API Untuk Pengelasan Pipeline dan Fasilitas Terkait*. The American Petroleum Institut, U.S.A.
- ASME. 2008. ASME B31.4-2008 (Revision of ASME B31.4-2006), *Sistem Transportasi Pipeline Untuk Cairan Hidrokarbon dan Liquid Lainnya*, The American Society of Mechanical Engineer, U.S.A.
- CAPP. 2004 *Planing Horizontal Directional Drilling For Pipeline Construction*. Canada. Publication September 2004.