

Evaluasi *Design Basis* Instalasi *Underground Pipeline* Distribusi Minyak Hidrokarbon Bekasi Area

Vania Naomi Mustika^{1*}, R. Dimas Endro Witjonarko^{2*}, Ika Erawati^{3*}

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*,2*,3}

Email: vania-naomi28@student.ppns.ac.id^{1*}; dimasend@ppns.ac.id^{2*}; ika.iqer@ppns.ac.id^{3*};

Abstract - A hydrocarbon oil distribution pipeline construction project owned by one of a State-Owned Enterprises that engaged in oil and gas sector is in the process towards the construction phase. Pipeline is planned to be passing a road crossing on a toll road, so the pipeline should be installed buried underground. The underground pipeline will be installed at the soil depth 1500 mm from the ground surface refers to the criteria based on the owner's design basis. The potential failure of an inadequate soil depth for pipeline burial is overstress from the load on the underground pipeline. The soil depth criteria in design basis for the underground pipeline installation was evaluated towards stress of the underground pipeline for the toll road crossing. Based on the stress analysis using a software and manual calculation, it is found that stress values of underground pipeline at the soil depth of 1500 mm are still meet the criteria of allowable pipeline stress value.

Keyword: *Underground Pipeline, Soil Depth, Road Crossing, Stress Analysis*

Nomenclature

K_{He}	stiffness factor
B_e	burial factor
E_e	excavation factor
γ	soil weight
D	pipe outside diameter
K_{Hh}	highway stiffness factor
G_{Hh}	highway geometry factor
R	highway pavement type factor
L	highway axle configuration factor
F_i	impact factor
w	applied design surface pressure
K_{Lh}	highway stiffness factor
G_{Lh}	highway geometry factor
p_i	MAOP
t_w	pipe wall thickness
F	design factor
E	longitudinal joint factor
T	temperature
S_1	maximum circumferential stress
S_2	maximum longitudinal stress
S_3	maximum radial stress
SMYS	specified minimum yield strength
ν_s	poisson's ratio
E_s	young's modulus

α_T	thermal expansion
T_1	operating temperature
T_2	design temperature
S_{He}	earth load circumferential stress
ΔS_{Hh}	cyclic circumferential stress
ΔS_{Lh}	cyclic longitudinal stress
S_{Hi}	internal pressure circumferential stress
S_{eff}	stress effective

1. PENDAHULUAN

Proyek pembangunan *pipeline* milik salah satu Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak pada bidang *oil and gas* sedang berada dalam proses menuju tahap konstruksi. *Pipeline* distribusi minyak hidrokarbon ini dibangun untuk mengakomodasi permintaan meningkat terhadap Bahan Bakar Minyak (BBM) seperti premium, pertamax, dan solar (*diesel-fuel*) di daerah Jabodetabek. Pada pemilihan jalur, *pipeline* akan melewati berbagai kondisi seperti hutan, perkantoran, rumah penduduk, jalan raya, sungai, hingga rawa [8]. *Pipeline* distribusi minyak hidrokarbon ini akan melewati *road crossing* berupa jalan tol, sehingga *pipeline* akan dipasang dalam keadaan terkubur di bawah tanah (*underground*) mengikuti *design basis* milik *owner* untuk ketentuan kedalaman tanah pemendaman *underground pipeline*. Tanah yang

menjadi tempat *underground pipeline* dipasang harus dipastikan aman dan sesuai agar dapat menahan pergerakan pipa untuk mencegah terjadinya tegangan di luar tegangan pada pipa [6]. Lokasi jalur *road crossing underground pipeline* distribusi minyak hidrokarbon Bekasi area dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Underground pipeline distribusi minyak hidrokarbon Bekasi area akan dipasang pada kedalaman tanah 1500 mm sesuai dengan ketentuan *design basis* untuk kondisi *road crossing*. Pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi pada ketentuan *design basis* untuk kedalaman tanah pemendaman pipa terhadap nilai tegangan pada *underground pipeline*. Evaluasi ini dilakukan menggunakan *software* analisis tegangan dengan variasi pembebanan berupa *operation load*, *expansion load*, dan *sustain + occasional load*. Ketentuan *design basis* juga akan dievaluasi kelayakannya berdasarkan perhitungan *stress effective* yang mengacu pada standar API RP 1102.

2. METODOLOGI.

2.1 Pemodelan *Underground Pipeline* Menggunakan *Software*

Pemodelan *underground pipeline* distribusi minyak hidrokarbon Bekasi area dilakukan menggunakan *software* analisis tegangan yang mengacu pada standar ASME B31.4. Data *forces/ moments* yang dimasukkan adalah beban *wheel load* untuk jenis *tandem axle* yang mengacu pada Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang kelas jalan serta *seismic load* dari data kementerian PUPR untuk lokasi yang diambil untuk penelitian. Jalan tol termasuk ke dalam status jalan nasional dan jalan kelas I yang dapat dilewati kendaraan bermotor dengan muatan hingga 10 ton [9].

2.2 Analisis Tegangan *Underground Pipeline* Menggunakan *Software*

Pembuatan sistem perpipaan yang aman harus memperhatikan beban internal maupun eksternal yang terjadi dalam melakukan perhitungan tegangan *underground pipeline* [1]. Perhitungan nilai tegangan *underground pipeline* distribusi minyak hidrokarbon Bekasi area menggunakan *software* analisis tegangan disesuaikan dengan *load case* yang mempengaruhi *underground pipeline* dan dimasukkan pada menu *edit static load* pada *software*. *Load case* yang dianalisis adalah *operation load*, *expansion load*, dan *sustain + occasional load*. Langkah berikutnya setelah melakukan pemodelan geometri untuk *underground pipeline* distribusi minyak hidrokarbon Bekasi area adalah memasukkan data pada *underground pipe modeler*. Data tanah yang sesuai dengan kondisi aktual lapangan dimasukkan untuk melihat *soil restraints* pada bagian *underground pipeline*. Tipe tanah pada daerah yang dipilih untuk pemasangan *underground pipeline* distribusi minyak hidrokarbon Bekasi area adalah jenis *clay soil* atau tanah lempung [2]. *Input* untuk *underground pipe modeler* disesuaikan dengan kedalaman tanah penguburan pipa untuk melihat hasil tegangan yang terjadi.

2.3 Perhitungan Manual Tegangan *Underground Pipeline*

Tegangan yang terjadi pada *underground pipeline* yang melewati *road crossing* meliputi beberapa nilai tegangan sebagai berikut.

Circumferential stress pada sistem perpipaan akibat *earth load* dapat ditentukan menggunakan Persamaan (1) sebagai berikut.

$$S_{He} = K_{He} \cdot B_E \cdot E_e \cdot \gamma \cdot D \tag{1}$$

Cyclic circumferential stress disebabkan oleh beban kendaraan yang melewati jalan raya di atas *underground pipeline* dapat ditentukan menggunakan Persamaan (2) sebagai berikut.

$$\Delta S_{Hh} = K_{Hh} \cdot G_{Hh} \cdot R \cdot L \cdot F_i \cdot w \tag{2}$$

Cyclic longitudinal stress disebabkan oleh beban kendaraan yang melewati jalan raya di atas *underground pipeline* dapat ditentukan menggunakan Persamaan (3) sebagai berikut.

$$\Delta S_{Lh} = K_{Lh} \cdot G_{Lh} \cdot R \cdot L \cdot F_i \cdot w \tag{3}$$

Circumferential stress akibat tekanan dalam dapat ditentukan menggunakan Persamaan (4) sebagai berikut.

$$S_{Hi} = \frac{p(D-t_w)}{2t_w} \tag{4}$$

Perhitungan *allowable pipeline stress value* dapat ditentukan menggunakan *barlow formula* pada Persamaan (5) sebagai berikut.

$$S_{Hi} = \frac{p \times D}{2t_w} \leq F \cdot E \cdot T \cdot SMYS \tag{5}$$

Perhitungan *allowable pipeline stress value* juga ditentukan menggunakan perhitungan *stress effective* dengan mencari nilai *principal stresses* menggunakan Persamaan (6), (7), dan (8) sebagai berikut.

$$S_1 = S_{He} + \Delta S_{Hh} + S_{Hi} \tag{6}$$

$$S_2 = \Delta S_{Lh} - E_s \alpha_T (T_2 - T_1) + v_s (S_{He} + S_{Hi}) \tag{7}$$

$$S_3 = -p = -MAOP \text{ or } -MOP \tag{8}$$

Nilai *stess effective* dapat ditentukan menggunakan Persamaan (9) sebagai berikut.

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2} [(S_1 - S_2)^2 + (S_2 - S_3)^2 + (S_3 - S_1)^2]} \tag{9}$$

Persamaan (10) digunakan untuk memastikan nilai dari *total effective stress* aman untuk sebuah *pipeline* beroperasi:

$$S_{eff} \leq SMYS \cdot F \tag{10}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Aktual Lapangan

Kondisi aktual lapangan lokasi pemasangan *underground pipeline* Bekasi area yang melewati jalan tol dapat dilihat pada Gambar 2 Sebagai berikut.



Kondisi *underground pipeline* pada gambar di atas merupakan *road crossing* yang melewati jalan tol. Lokasi *road crossing* jalan tol yang dianalisis adalah Jalan Tol Jakarta – Cikampek KM 57. Jalan tol termasuk ke dalam status jalan nasional dan jalan kelas I yang dapat dilewati kendaraan bermotor dengan muatan hingga 10

ton. Panjang dari *underground pipeline* yang dianalisis akan disesuaikan dengan data yang ada pada *plot plan*. Jenis *highway pavement type factor* pada jalan tol ini diklasifikasikan sebagai tipe *rigid pavement* dan *design axle configuration* yang digunakan adalah jenis *tandem axle*.

3.2 Pemodelan Underground Pipeline Menggunakan Software

Pemodelan *underground pipeline* distribusi minyak hidrokarbon Bekasi area dilakukan menggunakan *software* analisis tegangan dengan data yang tertera pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut ini.

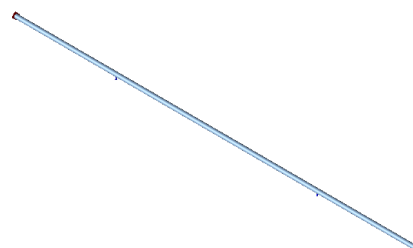
Tabel 1: Data Spesifikasi Pipa

Parameter	Nilai	Unit
Line Pipe Grade	API 5L Gr. X65	-
	PSL 2	
NPS	16	in
Pipe Schedule	STD	-
Outside Diameter	16	in
Inside Diameter	15,250	in
Wall Thickness	0,375	in
Pipe Density	0,283	in
Design Pressure	1479,94	lb/in ²
Operating Pressure	1038,304	lb/in ²
Design Temperature	100,04	F
Operating Temperature	86	F
Corrosion Allowance	3	mm
Coef. Thermal Exp	65 x 10 ⁻⁶	in/in°F
Modulus Elasticity (Es)	29300000	psi
SMYS	65000	psi
Design Factor (F)	0,72	-
Temperature Dereating Factor (T)	1	-
Weld Joint Factor (E)	1	-
Poisson's Ratio (vs)	0,3	-

Tabel 2: Data Spesifikasi Tanah

Parameter	Nilai	Unit
Soil Type	Soft to medium clays and silts with low and to medium plasticities; loose sands and gravels	-
Berat Tanah (γ)	0,063	lb/in ³
Modulus of Soil Reaction (E')	0.5	ksi
Resilient Modulus (Er)	10	ksi
Buried Depth to TOP	1500	mm

Hasil geometri pemodelan *underground pipeline* distribusi minyak hidrokarbon Bekasi area dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini

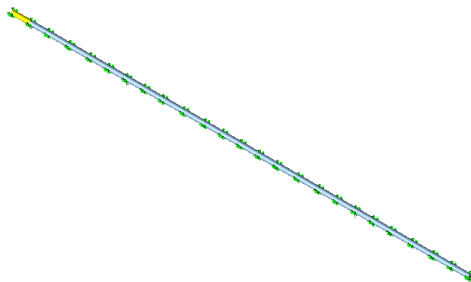


Hasil analisis tegangan *underground pipeline* menggunakan *software* dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3: Hasil Analisis Tegangan Menggunakan *Software*

Load Case	Code Stress (psi)	Allowable Stress (psi)	Ratio (%)
Operation Load	22150,5	46800	47,3
Expansion Load	3082,5	58500	5,2
Sustain + Occasional Laod	22150,5	46800	47,3

Langkah berikutnya setelah melakukan pemodelan geometri untuk *underground pipeline* distribusi minyak hidrokarbon Bekasi area adalah memasukkan data pada *underground pipe modeler* yang menunjukkan hasil *soil restraints* pada hasil pemodelan *software*. Hasil dari pemodelan *underground pipe modeler* dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini



Kriteria penerimaan nilai tegangan akibat *operation load*, *expansion load*, dan *sustain + occasional laod* adalah jika rasio tidak melebihi 100% atau tidak melebihi *allowable pipeline stress value*, sehingga nilai tegangan akibat *operation load*, *expansion load*, dan *sustain + occasional laod* pada semua segmen masih memenuhi *allowable pipeline stress value*.

3.3 Perhitungan Manual Tegangan Underground Pipeline

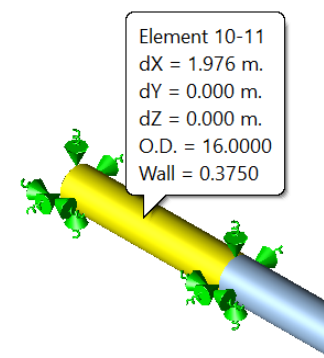
Hasil perhitungan tegangan *underground pipeline* berdasarkan standar API RP 1102 dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4: *Principal Stresses Properties*

Parameter	Tegangan (psi)
S_{He}	1959,310
ΔS_{Hh}	2955,542
ΔS_{Lh}	2042,011
S_{Hi}	21631,333

3.3 Analisis Tegangan Menggunakan *Software*

Setelah dilakukan pemodelan geometri untuk *underground pipeline* pada menu *underground pipe modeler*, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis tegangan *underground pipeline* akibat pembebanan atau *load case* yang telah ditentukan pada kedalaman tanah 1500 mm. Tegangan tertinggi pada *underground pipeline* terletak pada *node 10* untuk semua pembebanan yang diberikan. Ilustrasi hasil *running software* dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Hasil dari perbandingan *stress effective* dengan *allowable pipeline stress value* dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5: Hasil *Stress Effective*

S_{eff}	Allowable Stress
31920,702 psi	46800 psi

Hasil perhitungan manual untuk tegangan *underground pipeline* distribusi minyak hidrokarbon Bekasi area berdasarkan standar API RP 1102 masih memenuhi kriteria aman karena nilainya di bawah dari *allowable pipeline stress value*.

4. KESIMPULAN

Nilai tegangan pada *underground pipeline* distribusi minyak hidrokarbon Bekasi area pada kedalaman 1500 mm dengan kondisi *road crossing* pada jalan tol yang diperoleh dari *software* analisis tegangan akibat *operation load*, *expansion load*, dan *sustain + occasional load* berturut-turut adalah sebesar 22150,5 psi, 3038,2 psi, dan 22150,5 psi, sedangkan nilai S_{eff} berdasarkan standar API RP 1102 pada

underground pipeline distribusi minyak hidrokarbon Bekasi *area* pada kedalaman tanah 1500 mm adalah sebesar 31920,702 psi di mana hasil perhitungan tegangan *underground pipeline* menggunakan *software* analisis tegangan dan perhitungan manual dapat diterima karena nilainya masih di bawah *allowable pipeline stress value*.

5. PUSTAKA

- [1] Adam, G. Z. (2023). Prediksi Keandalan *Underground Pipeline for Fuel Hydrant System* terhadap Kelelahan (*Fatigue*) Menggunakan Metode *Monte Carlo*. Tugas Akhir Teknik Perpipaan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia.
- [2] Andika, R., & Suhendra, A. (2023). Studi Analisis Fondasi Tiang Pada Tanah Ekspansif Di Daerah Cikarang Dan Karawang. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*.
- [3] API 1102. (2017). *API-1102: Steel Pipelines Crossing Railroads and Highways*. Washington, D.C: *American Petroleum Institute*.
- [4] API 574. (2016). *Inspection Practices for Piping System Components*. Washington, D.C: *American Petroleum Institute*.
- [5] ASME B31.3. (2018). B31.3-2018 - *Process Piping*. U.S.A: *The American Society of Mechanical Engineers*.
- [6] ASME B31.4. (2019). B31.4-2019 - *Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries*. U.S.A: *The American Society of Mechanical Engineers*.
- [7] Pandey, S. V, & Lalamentik, L. (2014). Kelas Jalan Daerah Untuk Angkutan Barang. *Jurnal Tekno Sipil*.
- [8] Tefani, Poppy. M. (2021). Studi Teknis - Ekonomis Instalasi *Buried Pipeline* Distribusi Bahan Bakar Minyak pada Kapal di Terminal Jamrud, Surabaya. Tugas Akhir Teknik Perpipaan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia.
- [9] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan