

Tinjauan Teknis Instalasi Jalur Pipa *Buried* pada Sistem Distribusi Bahan Bakar di Terminal Pelabuhan Jamrud Surabaya

Yeyes Mulyadi^{1*}, Adi Wirawan Husodo^{2*}, Pekik Mahardhika², Fais Hamzah³, Poppy M. Tefani⁴

Program Studi/Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia¹

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, PPNS, Surabaya, Indonesia²

Program Studi Desain Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, PPNS, Surabaya, Indonesia³

PT. Solusi Energy Nusantara, Jakarta, Indonesia⁴

Email: yeyes@oe.its.ac.id¹; adi_wirawan@ppns.ac.id²; pekikmahardhika@ppns.ac.id²;

fais.hamzah@ppns.ac.id³; poppy.meris@pt-sena.co.id⁴

Abstract - The addition of new pipelines to the fuel oil distribution pipeline system is carried out from Mirah Terminal to the jetty at Jamrud Terminal. The pipe is laid underground with a depth of +1.5 m from the ground surface to the bottom of the pipe. Buried pipe shall be evaluated to ensure that the soil provides adequate containment to limit pipe movement, to prevent unacceptable stress and/or strain levels in the pipe, and to prevent failure of the earth support. A technical review was carried out on the buried pipeline installation design with uncased conditions, especially on the stress aspect. Stress analysis is carried out with reference to the provisions of API RP 1102 and ASME B31.4. From the results of the stress analysis, that the magnitude of the stress due to internal load is 2243,357 psi, earth load is 281,330 psi, live load is 1174.766 psi (circumferential stress) and 971.715 psi (longitudinal stress), sustain load is 2330.4 psi, occasional seismic 690.4, occasional seismic + wheel load 6933 psi. The results of the analysis show that the stresses that occur in the pipeline are within safe limits according to API RP 1102 and ASME B31.4.

Keyword: Buried pipe, stress analysis, dead load, live load, sustain load, occasional load

1. PENDAHULUAN

Pipeline merupakan suatu instalasi pipa sebagai media transportasi *fluida* dalam bentuk gas maupun cair yang menghubungkan dua daerah yang memiliki jarak yang cukup jauh [2]. Proyek penambahan jalur baru pada sistem perpipaan penyalur bahan bakar (*Filling Station*) akan dilakukan dari *line existing* di Terminal Mirah menuju dermaga di Terminal Jamrud. Beberapa aspek perlu menjadi sorotan utama untuk dijadikan pertimbangan dalam penentuan desain dan perencanaan pipa. Pada *buried pipe*, beban eksternal menjadi pertimbangan utama dalam penentuan desain dan perencanaan sistem perpipaan. Mengacu pada regulasi KepMenTambEn RI No. 300.K/38/M.pe/1997 [3] dan API RP 1102 [1] bahwa kedalaman penanaman pipa harus dilakukan pada kedalaman minimum 1.5 meter dari permukaan tanah di bawah *conblock* (*paving block*) ke bagian bawah pipa (*Bottom of Pipe*).

Pada instalasi *buried pipe*, interaksi pipa-ke-tanah harus dievaluasi untuk memastikan bahwa tanah memberikan penahanan yang memadai untuk membatasi pergerakan pipa, untuk mencegah tingkat tegangan dan/atau regangan yang tidak dapat diterima dalam pipa, dan untuk mencegah kegagalan penyangga tanah [4].

Beberapa penelitian terkait dengan kajian teknis instalasi *buried pipe* telah dilakukan sebelumnya. Nuryono [5] telah mengkaji besarnya tegangan yang terjadi pada jalur pipa *crossing highway* untuk penyaluran gas dengan melakukan variasi kedalaman

elevasi. Dari hasil kajian disimpulkan bahwa semakin dalam elevasi, maka besarnya tagnagan yang terjadi juga semakin besar. Maulana [6] telah mengkaji secara teknis dan ekonomis instalasi jaringan pipa gas pada area *crossing*. Tiga model perlindungan pipa digunakan dalam penelitian ini, yaitu *uncased pipe*, *cased pipe* dan *uncased pipe* yang dilengkapi dengan *slab concrete*. Dari kajian teknis yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa untuk model *cased pipe* mempunyai nilai tegangan yang paling kecil. Namun dari aspek ekonomis, model *uncased pipe* dengan *slab concrete* mempunyai nilai ekonomis yang paling tinggi. Hasil kajian teknis yang serupa juga diperoleh oleh Zacky [2], dimana model *cased pipe* mempunyai nilai tegangan yang lebih kecil dibanding *uncased pipe*.

Dalam penelitian ini kajian teknis dilakukan pada perancangan instalasi *buried pipeline* penyalur bahan bakar dengan model *uncased pipe*. Kajian teknis dilakukan dengan fokus pada besarnya nilai tegangan yang terjadi, baik menurut ketentuan API RP 1102 dan ASME B31.4.

2. METODOLOGI .

2.1 Tagangan Akibat Beban Eksternal

Beban eksternal menghasilkan tegangan sirkumferensial dan longitudinal pada pipa. Beban eksternal disebabkan beban tanah (*earth loads*) dan beban hidup (*live load*) [1].

Tegangan sirkumferensial (S_{HE}) pada pipa disebabkan oleh beban tanah (*earth load*), dan dapat ditentukan dengan Persamaan (1) berikut [1]:

$$S_{HE} = K_{HE} \cdot B_e \cdot E_e \cdot \gamma \cdot D \quad (1)$$

Dimana K_{HE} merupakan faktor kekakuan untuk tegangan circumferential dari beban tanah, B_e merupakan faktor penguburan beban tanah, E_e merupakan faktor ekskavasi beban tanah, γ merupakan berat tanah (lb/in^3 atau kN/m^3) dan D merupakan diameter luar pipa (in atau mm).

Beban hidup (*live load*) berasal dari beban alat transportasi, w , yang melintas di atas jalur pipa. Pembebanan berasal dari beban roda (P) yang melintas di atasnya. Beban roda diambil dari beban maximum roda dari *single axle truck*, P_s , atau beban maksimum roda dari *tandem axle truck*, P_t [1].

$$P_s = 0.5 \cdot \text{single axle load} \quad (2)$$

$$P_t = 0.5 \cdot \text{tandem axle load} \quad (3)$$

Beban desain yang digunakan pada penelitian ini adalah P_t sebesar 10 kips (44.5 kN) tekanan permukaan desain yang diterapkan adalah $w = 69.4$ psi (479 kPa).

Pengaruh beban hidup juga menimbulkan tegangan siklik sirkumferensial (ΔS_{Hh}). Menurut API RP 1102 [1] besarnya tegangan siklik sirkumferensial adalah:

$$\Delta S_{Hh} = K_{Hh} \cdot G_{Hh} \cdot R \cdot L \cdot F_i \cdot w \quad (4)$$

K_{Hh} merupakan faktor kekakuan jalan raya untuk tegangan siklik sirkumferensial, G_{Hh} merupakan faktor geometri jalan raya untuk tegangan siklik sirkumferensial, R merupakan faktor *pavement*, L merupakan factor konfigurasi jalan raya, F_i merupakan *impact factor* dan w merupakan tekanan permukaan desain (psi atau kPa).

Disamping itu, pengaruh beban hidup juga menimbulkan tegangan siklik longitudinal, yang besarnya sebagai berikut [1]:

$$\Delta S_{Lh} = K_{Lh} \cdot G_{Lh} \cdot R \cdot L \cdot F_i \cdot w \quad (5)$$

Dimana K_{Lh} merupakan faktor kekakuan jalan raya untuk tegangan siklik longitudinal, G_{Lh} merupakan faktor geometri jalan raya untuk tegangan siklik longitudinal.

2.2 Tagangan Akibat Beban Internal

Tegangan akibat internal merupakan tegangan sirkumferensial yang dipengaruhi oleh besarnya tekanan internal. Menurut ketentuan API RP 1102 besarnya tegangan sirkumferensial akibat tekanan internal tersebut adalah [1]:

$$S_{Hi} = \frac{P(D - t_w)}{2t_w} \quad (6)$$

Dengan P merupakan tekanan internal yang diambil dari tekanan operasi maksimal yang diijinkan (MAOP) dengan satuan psi atau kPa, D merupakan diameter luar pipa (in atau mm) dan t_w merupakan tebal dinding pipa (in atau mm).

2.3 Pemeriksaan Tegangan Ijin

Tegangan yang timbul pada jalur perpipaan *buried* perlu dievaluasi terhadap nilai tegangan ijinnya. Menurut API RP 1102 [1], terdapat 2 (dua) cara untuk memeriksa besarnya tegangan ijin, yaitu menggunakan formula *Barlow* dan tegangan efektif.

$$S_{Hi}(\text{Barlow}) = PD/2t_w \quad (7)$$

$$S_{Hi}(\text{Barlow}) \leq F \times E \times T \times SMYS \quad (8)$$

$$S_{eff} \leq F \times SMYS \quad (9)$$

Dimana $S_{Hi}(\text{Barlow})$ merupakan tegangan sirkumferensial Barlow (psi, kPa), $SMYS$ merupakan tegangan yield minimum spesifik (psi, kPa) dan S_{eff} merupakan tegangan efektif (psi, kPa). Besarnya tegangan efektif dipengaruhi oleh tegangan sirkumferensial maksimal (S_1), tegangan longitudinal maksimal (S_2), dan tegangan radial maksimal (S_2).

2.4 Pemeriksaan Kelelahan



Gambar 1. Lay-out jalur pipa buried

Pemeriksaan kelelahan perlu dilakukan pada jalur pipa baru ini, karena dengan beberapa pertimbangan. Efek dari jalur pipa yang terpendam (*buried*), maka pada jalur pipa tersebut akan mengalami beban-beban siklis. Sehingga efek dari beban siklis adalah munculnya tegangan siklis akibat efek kelelahan. Menurut API RP 1102, pemeriksaan tegangan siklis akibat efek kelelahan ini dilakukan pada sambungan las, baik yang sambungan melingkar ataupun memanjang [1]. Formula untuk memeriksa efek kelelahan pada sambungan melingkar adalah :

$$\Delta S_{Lh} \leq S_{FG} \times F \quad (10)$$

Sedang pemeriksaan efek kelelahan pada sambungan memanjang adalah:

$$\Delta S_H \leq S_{FL} \times F \quad (11)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penambahan jalur pipa distribusi bahan bakar terletak di Terminal Pelabuhan Jamrud, Surabaya. Pada Gambar 1 dapat dilihat lay-out jalur pipa baru (warna kuning) dengan lingkaran merah yang merupakan area *buried*. Sedangkan Spesifikasi teknis pipa dan data tanah dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Hasil perhitungan tegangan pada jalur pipa disajikan

Tabel 3. Nilai tegangan pipa menurut API RP 1102

Parameter	Tegangan (psi)
a) Tegangan Eksternal	
- Earth Load (S_{HE})	281,330
- Live Load :'	
SHh	1174,766
SLh	971,715
b) Tegangan Internal	2243,357

pada Tabel 3. Dimana besarnya tegangan akibat beban eksternal adalah seperti tegangan akibat beban mati (S_{HE}) sebesar 281.33 psi, tegangan siklik sirkumferensial (S_{Hh}) sebesar 1174.77 psi dan tegangan siklik longitudinal (S_{Lh}) sebesar 971.72 psi. Sedangkan besarnya tegangan akibat beban internal (S_{Hi}) sebesar 2243.36 psi. Pada Tabel 4 dapat dilihat hasil pemeriksaan nilai-nilai tegangan tersebut di atas terhadap kriteria-kriteria pemenuhan, seperti menurut ketentuan pada formula *Barlow*, tegangan efektif dan juga terhadap pemenuhan faktor kelelahan pada sambungan melingkar dan memanjang [7]. Dari hasil pemeriksaan terhadap faktor-faktor pemenuhan tersebut dapat dinyatakan bahwa semua nilai tegangan yang terjadi, apakah tegangan akibat beban eksternal dan tegangan akibat beban internal masih dalam kategori yang aman.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Pipa

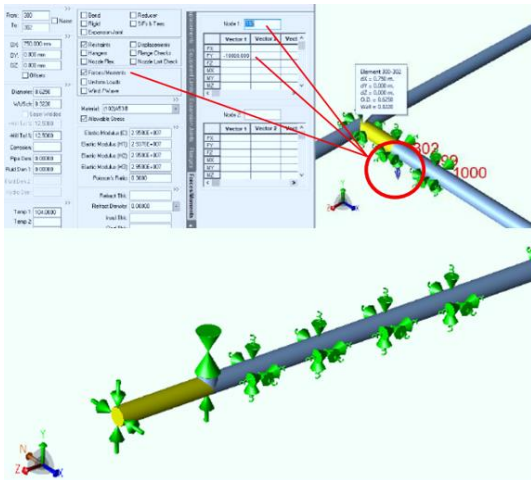
Parameter	Satuan	Nilai
Coef. Thermal Exp	in/in/Deg F	0.0000065
SMYS	psi	35000
Modulus Elasticity (E)	psi	28800000
Location Class	-	3
Design Factor (F)	-	0,5
Temperature Derating Factor (T)	-	1
Weld Joint Factor (E)	-	1
Poison's Ratio (vs)	-	0,3
R	-	1
L	-	1
SFG	psi	12000
SFL	psi	21000
Pipe Grade	-	A-53 Gr B sch 40
OD	inch	8.63
t_w	inch	0.32
Weight	lb/ft	28.58
Tekanan Operatioanal	psi	145
Tekanan Desain	psi	174
Temperatur Operasional	°F	104
Depth Burial (H)	ft	4.20

Selain nilai-nilai tegangan menurut API RP 1102, terdapat 2 (dua) nilai tegangan yang juga dianalisis menurut ketentuan ASME B31.4, yaitu tegangan akibat beban sustain, tegangan akibat beban okasi dan tegangan akibat okasi yang ditambah dengan faktor berat roda (*wheel load*) [4]. Perhitungan ketiga nilai tegangan tersebut menggunakan *software* berbasis metode elemen hingga. Pemodelan dan penginputan beban untuk perhitungan ketiga nilai tegangan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil

Tabel 4. Hasil pemeriksaan nilai tegangan terhadap parameter tegangan dan kelelahan

Parameter	Tegangan Vs Tegangan	
a) Batas Perhitungan Tegangan		
- Formula Barlow	2330,357	≤
- Tegangan Efektif	4778,550	≤
b) Pemeriksaan Kelelahan		
- Girth Weld	971,715	≤
- Longitudinal Weld	1174,766	≤

perhitungan ketiga nilai tegangan menurut ketentuan ASME B31.4 tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.



Tabel 2. Data tanah

Parameter	Satuan	Nilai/Keterangan
Soil type	-	Soft to medium clays & silts with low to medium plasticities; loose sands & gravels
Soil Density (ρ)	kg/m ³	1300
gravity (g)	m/s ²	9,81
berat tanah (γ)	kN/m ³	12,75
Modulus of soil reaction (E')	ksi	0,5
Resilient modulus (Er)	ksi	10
berat tanah (γ)	lb/in ³	0,047
Friction Angle	degree	30

Dari hasil pada Tabel 5 dapat disimpulkan bahwa

Tabel 5. Nilai tegangan pipa menurut ASME B31.4

Parameter	Nilai Tegangan (psi)	Nilai Tegangan Ijin (psi)
a) Tegangan akibat beban sustain	2330,4	25000
b) Tegangan akibat beban okasi (Occ Seismic)	690,4	31500
c) Tegangan akibat beban okasi (Occ Seismic + Wheel Load)	6932,5	31500

nilai tegangan yang terjadi pada jalur perpipaan buried jauh di bawah nilai tegangan izin (*allowable stress*), sehingga *buried pipeline* dalam kondisi *safe* atau aman pada kondisi tanpa perlindungan khusus (*uncased*).

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan tinjauan teknis untuk mengetahui tingkat keamanan pada jalur pipa distribusi bahan bakar di Terminal Pelabuhan Jamrud, Surabaya. Besarnya nilai tegangan pada jalur perpipaan menurut ketentuan API RP 1102 dan ASME B31.4 dihitung, baik dengan perhitungan manual dan juga dengan bantuan software berbasis metode elemen hingga. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai tegangan hasil dari perhitungan manual yang dilakukan pada *buried pipeline* dinyatakan aman dikarenakan tidak melebihi tegangan ijin menurut persyaratan API RP 1102. Sedang hasil perhitungan software menunjukkan bahwa nilai tegangan akibat sustain dan okasional *buried pipeline* dinyatakan aman, dikarenakan tidak

melebihi tegangan ijin menurut persyaratan ASME B31.4.

5. PUSTAKA

- [1] API RP 1102 : Steel Pipelines Crossing Railroads and Highways, 7th ed., Washington, D.C: American Petroleum Institute, 2017.
- [2] M. F. Z. Jazuli, A. W. Husodo and I. Irawati, "Analisis Teknis Dan Ekonomis Proteksi Perlindungan Pipa Crossing Rel Kereta Api Di Kp 0+020 Jaringan Pipa Transmisi Gas Gresik – Semarang," in *Conference on Piping Engineering and Its Application*, Surabaya, 2018.
- [3] *Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No. 300.K/38/M.PE/1997 tentang Keselamatan Kerja Pipa Penyalur Minyak dan Gas Bumi*.
- [4] ASME B31.4 : Gas Pipeline Transportation System for Liquid and Slurries, New York: ASME Publisher, 2019.
- [5] W. A. Nuryono, "Desain Pipeline Crossing Highways pada Jaringan Pipa Penyalur Gas," Program Studi Teknik Perpipaan, Surabaya, 2016.

- [6] A. R. Maulana, “Desain Media Perlindungan Pipeline Crossing pada Jaringan Pipa Gas KIM - KEK di KM 33 (Studi Kasus di PT. TEGMA Engineering),” Program Studi Teknik Perpipaan, Surabaya, 2016.
- [7] S. F. Y. Pratama, R. D. E. Witjonarko and A. Ghafur, “Studi Teknis Kelayakan Desain Area Buried Pipe Menembus Rel Kereta Api Pada Jaringan Gas,” in *Conference on Piping Engineering and Its Application*, Surabaya, 2018.