

Analisis Pengaruh Ketebalan Pipa Terhadap *Effective Stress* Pada Desain *Buried Pipe Tie-In Crossing Highway*

Muhammad Fadhilillah Shani^{1*}, Priyo Agus Setiawan², Rina Sandora³

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

Email: mshani10@student.ppns.ac.id^{1*}; priyo.as@ppns.ac.id^{2*}; rinasandora@ppns.ac.id^{3*};

Abstract - In Plant Expansion Projects, the Tie-In process is often encountered, where the Tie-In process itself is a process of connecting one system to a new system. The Tie-In process itself has challenges where the road from the old system to the new system is limited, so the design of the Tie-In connection itself must be considered carefully. From these problems we are required to obtain a piping system design that complies with the codes and standards used for the Underground Pipe Crossing Highway. In this case, we will design and compare the buried pipe design and the concrete encasement design. For material selection, the minimum wall thickness value was obtained at 1.42875 mm, so ASTM A53 Gr.B with Sch.20 material with the appropriate thickness was used. In this case, a depth of 1.5 meters below the ground surface is used which is in accordance with the minimum depth in the API 1102 standard. In this condition the pipe must be designed to be able to withstand all kinds of loads such as dead load, live load and internal load. From this load, the stress that occurs in the pipe must not exceed the allowable ASME B31.4 and API 1102. For the aboveground pipe segment, providing support to prevent excessive stress on the pipe produces an allowable pipe span of 13.1232 meters for the maximum distance between supports.

Keyword: buried pipe, crossing highway, support, tie-in system

Nomenclature

t_b	minimum wall thickness
S_{He}	Circumferential Stress From Earth Load
S_{Hh}	Circumferential Stress From Live Load
S_{Hi}	Circumferential Stress From Internal Load
ΔS_L	Cyclic Longitudinal Stress From Live Load
E_s	young modulus of steel
T_1, T_2	Temperature
E_s	young modulus of steel
V_s	posion's ratio of steel
F	Design Factor
$SMYS$	Specified Minimum Yield Strength
S_{Eff}	Effective stress
I	Momen Inersia
Z	Zection Modulus
L_s	Maximum allowable pipe span (stress)
L_D	Maximum allowable pipe span (deflection)

1. PENDAHULUAN

Pada pembangunan proyek *Plant Expansion* sering dijumpai proses penyambungan antar *system* atau sering disebut *Tie-In*. Proses *Tie-In*

ini sendiri merupakan penyambungan antara *system* pada *plant* baru dengan *plant* lama. Dalam pengaplikasiannya proses *Tie-In* memiliki banyak tantangan dikarenakan proses penyambungan antar *system* ini menghubungkan 2 *system* dengan area berbeda dimana titik *existing* yang ada pada *plant* lama berada pada *piperack* dan titik pada *plant* baru berada pada permukaan tanah. Penentuan jalur *Tie-In* sendiri juga harus dilakukan dengan teliti dikarenakan apabila titik koordinat sambungan tidak sesuai atau berbeda, sambungan tersebut bisa tidak terhubung. Dalam kasus ini proses penyambungan *Tie-In* ini sendiri harus melewati jalan raya (*crossing highway*), sehingga digunakan proses perpipaan terkubur (*buried pipe*) agar tidak mengganggu jalannya aktivitas pada jalan raya tersebut dikemudian hari [3]. Dalam proses ini pipa akan dikubur dengan kedalaman tertentu sesuai dengan lokasi dan beban yang nantinya akan berpengaruh terhadap pipa tersebut. Penggunaan dan pemilihan material juga sangat berpengaruh terhadap sistem perpipaan terkubur (*buried pipe*). Desain *Tie-In* ini sendiri juga harus dirancang untuk memenuhi kriteria sesuai dengan *standard* yang ada untuk memenuhi kriteria dari segi teknis dan desain harus dibuat sesimpel mungkin untuk mempermudah dalam proses konstruksi juga mempertimbangkan sisi keamanan dan proses *maintenance* [3].

2. METODOLOGI .

2.1 Tahap Identifikasi Awalm

Pada penelitian ini akan membahas mengenai desain yang sesuai untuk sambungan *Tie-In Crossing Highway*. Penentuan dalam desain ini adalah dari aspek teknis dengan memperhitungkan tegangan pada pipa dan dari aspek ekonomis dengan memperhitungkan biaya pembuatan desain

2.2 Tinjauan Pustaka

Dalam proses perancangan sistem perpipaan terkubur (*buried pipe*) perlu dilakukan perhitungan mengenai tegangan pada pipa dikarenakan pada sistem ini pipa menerima banyak beban seperti *earth load*, *live load* dan *inernal load*. Dan untuk segmen *aboveground* pada desain ini dilakukan pemberian *support* untuk mencegah tegangan berlebih pada sistem perpipaan.

a. Tegangan akibat earth load

Earth load disini merupakan beban yang terjadi pada pipa akibat dari berat tanah yang menimbun pipa pada segmen *buried pipe*. Dalam perhitungan ini diperlukan nilai-nilai dari *stiffness factor for earth load circumferential stress, Khe*, *burial factor for auger bored earth load circumferential stress, Be*, dan *excavation factor for auger bored earth load circumferential stress, Ee* untuk menentukan nilai *Circumferential stress due to earth load*.

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

b. Tegangan akibat live load

Live load disini merupakan beban yang terjadi pada pipa akibat kendaraan yang melintasi atas dari tanah pada segmen *buried pipe*. Dalam perhitungan ini juga diperlukan nilai-nilai dari F_i , w , K_{Lh} dan G_{Lh} dan nilai R dan L yang didapat dari *table 2-Highway Pavement Type factor* pada standard API 1102 [1]. Dari nilai tersebut dapat diketahui nilai *Cyclic Longitudinal stress due to live load*.

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

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

c. Tegangan akibat internal load

Internal load sendiri merupakan beban yang berasal dari tekanan *fluida yang ada* didalam pipa tersebut. Untuk tegangan akibat beban internal memiliki 2 perhitungan yang mana perhitungan tersebut digunakan untuk mengetahui *allowable stress* dari *pressure* dan *circumferential stress due to internal load*.

$$S_{Hi(barlow)} = \frac{PD}{2tw} \tag{4}$$

$$S_{Hi(barlow)} \leq F_x E_x T_x S_{MYS} \tag{5}$$

$$S_{Hi} = \frac{P(D-tw)}{2tw} \tag{6}$$

d. Principal stress dan effective stress

Untuk penentuan *principal stress* dapat digunakan hasil dari persamaan (1),(2), dan (5). *Principal stress* sendiri memiliki 3 jenis tegangan antara lain *Circumferential stress, S1*, *Longitudinal stress, S2*, dan *Radial stress, S3*. Dimana dari ketiga nilai tersebut yang nantinya akan dihitung menjadi *effective stress effective stress* yang akan menentukan apakah desain tersebut memenuhi kriteria allowable sesuai dengan standard API 1102 [1] dan ASME B31.3 [2].

$$S1 = S_{He} + \Delta S_{Hh} + S_{Hi} \tag{7}$$

$$S2 = \Delta S_L + E_s \alpha_T (T_2 - T_1) + V_s (S_{He} + S_{Hi}) \tag{8}$$

$$S3 = - P \tag{9}$$

Dari nilai *principal stress* sendiri kemudian diolah menggunakan persamaan *effective stress* berikut.

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2} [(S1 - S2)^2 + (S2 - S3)^2 + (S3 - S1)^2]} \tag{10}$$

$$S_{eff} \leq S_{MYS} \times F \tag{11}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk data yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan material ASTM A53 Gr.B dengan *design pressure* sebesar 145,038 psi. dengan data spesifik dapat dilihat pada table 3.1 berikut:

Tabel 3. 1

Spesifikasi Pipa		
Steel Grade	ASTM A53 Gr.B	
Diameter, D	10,748	inch
Pressure	145,038	psi
S _{MYS}	35000	psi
Design Factor, F	0,6	-
Longitudinal Joint Factor, E	1	-
Installation Temperature, T1	82,4	F
Temperature Max or min, T2	86	F
Temperature derating Factor, T	1	-
Wallthickness, tw	0,365	inch
Young modulus, Es	31,18 x 10 ⁶	psi
Poission's Ratio of Steel, Vs	0,29	-
Coefficient of Thermal Expansion, at	6,5x10 ⁻⁶	/F

3.1 Perhitungan Stress Crossing Highway

Dalam perhitungan yang mencakup *earth load*, *live load* dan *internal load* untuk penentuan nilai *principal stress* dan *effective stress*. Dalam perhitungan ini digunakan *schedule 20*.

a. Tegangan akibat earth load

Dari data-data yang diperoleh dari penarikan grafik pada standard API 1102 [1] untuk nilai K_{He}, B_e, E_e diperoleh nilai yang kemudian diolah melalui persamaan (1).

$$S_{He} = 1700 \times 1,04 \times 1,2 \times 0,07 \times 10,748$$

$$S_{He} = 1596,207 \text{ psi}$$

b. **Tegangan akibat live load**

Untuk nilai K_{Lh}, G_{Lh}, F_i yang akan digunakan dalam penentuan tegangan akibat live load, diperoleh melalui grafik dengan menyesuaikan rasio yang dimana nilai tersebut akan digunakan dalam persamaan (2) dan (3).

$$\Delta S_{Lh} = 12,7 \times 1,1 \times 1,1 \times 1,1 \times 5,69,444$$

$$\Delta S_{Lh} = 1455,199 \text{ psi}$$

c. **Tegangan akibat internal load**

Untuk tegangan akibat internal load akan dihitung menggunakan persamaan barlow (4) untuk mengetahui apakah tegangan sesuai dengan kriteria atau tidak.

$$S_{Hi(barlow)} = \frac{145,038 \times 10,748}{2 \times 0,25}$$

$$S_{Hi(barlow)} = 3117,737 \text{ psi}$$

Dari nilai tersebut dapat ditentukan tegangan yang terjadi memenuhi kriteria atau tidak dengan persamaan (5).

$$3117,737 \leq 0,6 \times 1,1 \times 1,1 \times 35000$$

$$3117,737 \leq 21000$$

Untuk nilai tegangan akibat internal load yang akan digunakan dalam perhitungan principal stress dihitung melalui persamaan (6).

$$S_{Hi} = \frac{145,038(10,748-0,25)}{2 \times 0,25}$$

$$S_{Hi} = 3045,218 \text{ psi}$$

d. **Principal stress**

Untuk nilai principal stress ada 3 jenis yaitu circumferential, longitudinal dan radial dimana nilai-nilai tersebut diibaratkan menjadi $S1, S2$ dan $S3$ yang diperoleh melalui persamaan (7),(8) dan (9).

$$S1 = 1596,207 + 1455,199 + 3045,218$$

$$S1 = 6096,624 \text{ psi}$$

$$S2 = 1031,2434 - 31,1831 \times 6,5 \times 10^{-6} \times 3,6 + 0,$$

$$S2 = 2377,256 \text{ psi}$$

$$S3 = -145,038 \text{ psi}$$

e. **Effective stress**

Dari hasil nilai dari principal stress sendiri yang kemudian akan diolah menggunakan persamaan (10) untuk mendapat nilai dari effective stress.

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2} [13833698,319 + 6361967,022 + 38$$

$$S_{eff} = \sqrt{29577004,887}$$

$$S_{eff} = 5438,4745$$

3.2 Pengaruh schedule terhadap effective stress

Dari hasil perhitungan diatas yang merupakan pengaplikasian dari penggunaan schedule 20, maka pada sub bab ini akan dilakukan perbandingan nilai effective stress terhadap penggunaan schedule/ketebalan pipa.

a. **Perbandingan pada nilai, S_{He}**

Untuk hasil nilai dari perbedaan ketebalan pipa terhadap stress due to earth load dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut:

Tabel 3. 2

SCH	tw/D	H/Bd	Bd/D	Khe	Be	Ee	She
10	0,015352	4,542	1,209	4100	1,04	1,2	3849,676
20	0,02326	4,542	1,209	1700	1,04	1,2	1596,207
30	0,028563	4,542	1,209	1000	1,04	1,2	938,945
40	0,03396	4,542	1,209	900	1,04	1,2	845,051

b. **Perbandingan pada nilai, ΔS_{Hh}**

Untuk hasil nilai dari perbedaan ketebalan pipa terhadap circumferential stress due to live load dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut:

Tabel 3. 3

SCH	Fi	w	KHh	GHh	R	L	SHh
10	1,5	69,444	7	1,1	1	1	802,078
20	1,5	69,444	12,7	1,1	1	1	1455,199
30	1,5	69,444	11,5	1,1	1	1	1317,700
40	1,5	69,444	9,5	1,1	1	1	1088,535

c. **Perbandingan pada nilai, ΔS_{Lh}**

Untuk hasil nilai dari perbedaan ketebalan pipa terhadap longitudinal stress due to live load dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut:

Tabel 3. 4

SCH	KLh	GLh	Fi	w	R	L	SLh
10	10	1,1	1,5	69,444	1	1	1145,826
20	9	1,1	1,5	69,444	1	1	1031,243
30	8,4	1,1	1,5	69,444	1	1	962,494
40	7,7	1,1	1,5	69,444	1	1	882,286

d. **Perbandingan pada nilai, S_{Hi}**

Untuk hasil nilai dari perbedaan ketebalan pipa terhadap internal load dapat dilihat pada tabel 3.5 berikut:

Tabel 3. 5

SCH	P	D	tw	SHi
10	145,038	10,748	0,165	4651,325
20	145,038	10,748	0,25	3045,218
30	145,038	10,748	0,307	2466,355
40	145,038	10,748	0,365	2062,917

e. **Perbandingan pada nilai $S1, S2$ dan $S3$**

Dari hasil nilai dari perbandingan sebelumnya diperoleh nilai $S1, S2$ dan $S3$ yang dapat dilihat pada tabel 3.6 berikut:

Tabel 3. 6

SCH	S1	S2	S3
10	9303,079	3611,115	-145,038
20	6096,624	2377,256	-145,038
30	4723,000	1950,030	-145,038
40	3996,503	1725,596	-145,038

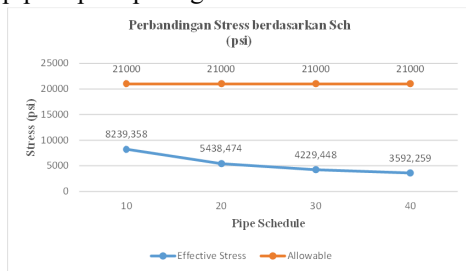
f. **Perbandingan pada nilai, S_{eff}**

Dari data yang ada pada principal stress kemudian diolah dengan untuk mengetahui apakah desain tersebut allowable atau tidak dapat dilihat pada tabel 3.7 berikut:

Tabel 3. 7

SCH	Seff	allowable stress
10	8239,3580	21000
20	5438,4744	21000
30	4229,4482	21000
40	3592,2589	21000

Dimana dari data tabel 3.7 semua nilai *effective stress* dari keempat ketebalan pipa yang digunakan dalam perbandingan memiliki nilai yang berbeda dan semua nilai tersebut masih dibawah dari nilai *allowable stress*. Dari data tersebut juga dapat dihasilkan grafik perbedaan antara nilai *effective stress* untuk setiap ketebalan pipa seperti pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Grafik Perbandingan *Effective stress*

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan diatas diperoleh beberapa kesimpulan dari proses pembuatan desain *Tie-In Crossing Highway* diantaranya sebagai berikut:

- Dari nilai *Circumferential stress from earth load* dengan penggunaan berbeda diperoleh kesimpulan jika semakin tebal dinding pipa, maka semakin kecil nilai *Circumferential stress from earth load* yang dihasilkan.
- Untuk nilai *Cyclic circumferential stress from highway* didapat kesimpulan jika nilai dari *Cyclic circumferential stress from highway* dipengaruhi oleh grafik yang ada pada standard API 1102 mengenai nilai *Stiffness factor for cyclic circumferential stress from highway*.
- Untuk nilai *Cyclic longitudinal stress from highway* didapat kesimpulan jika nilai dari *Cyclic longitudinal stress from highway* semakin kecil apabila tebal dinding pipa semakin tebal.
- Pada nilai *Circumferential stress from internal pressure* juga dipengaruhi ketebalan dinding pipa dengan kesimpulan semakin tebal dinding pipa semakin kecil nilai dari *Circumferential stress from internal pressure*.
- Untuk nilai *Principal stress* ini diperoleh dari penggunaan nilai *Circumferential stress from earth load*, *Cyclic circumferential stress from highway*, *Cyclic longitudinal stress from highway* dan *Circumferential*

stress from internal pressure. Sehingga didapat kesimpulan jika semakin tebal dinding pipa semakin kecil juga nilai dari *Principal stress* itu sendiri.

- Pada nilai *effective stress* yang diperoleh dari pengolahan nilai *principal stress* yang kemudian digunakan untuk mengetahui apakah nilai dari desain sudah memenuhi kriteria *allowable stress* diperoleh kesimpulan dari penggunaan ketebalan dinding pipa dengan variabel penggunaan *schedule* 10,20,30 dan 40 sesuai dengan ketentuan.

5. PUSTAKA

- API (2012). API 1102-2012, *Steel Pipeline Crossing Railroads and Highways*. API Code for pressure piping American Petroleum Institute, U.S.A.
- ASME (2016). ASME B31.3-2016, *Process Piping, ASME Code for Pressure Piping, B31*. The American Society of Mechanical Engineering, U.S.A.
- Ihsanudin (2018). Perancangan *Buried Pipeline Fuel Hydrant System* dari DPPU ke Terminal Kargo Bandara *International* di Jakarta. Tugas Akhir, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.