

Analisis Tegangan Pipa Pada Desain Sistem Perpipaan Line Discharge Acid Tank Yang Terhubung Pada Acid Transfer Pump Akibat Tank Settlement

M. Rizqy Risyad Mahfuz^{1*}, Adi Wirawan Husodo, S.T.,M.T.², Pekik Mahardhika, S.ST., M.T.³

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1,2}

Program studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia³

Email: rizqy.risyad@student.ppns.ac.id^{1*}; adi_wirawan@ppns.ac.id^{2*}; pekikmahardhika@ppns.ac.id^{3*};

Abstract - The acid storage tank (4250-TNK-0001) is predicted to decline by 75 mm within 25 years after construction. This study analyzes pipe span, pipe stress, nozzle load, and flange leakage for the tank settlement value at the 25th year. The analysis includes calculations for allowable pipe span, bending and centralized load, stress values, nozzle loads, and flange stress. The largest sustained load value is 22,300 Psi with a ratio of 133.5%, and the largest thermal load value is 150,390.9 Psi with a ratio of 600.4%. The stress value does not exceed the allowable stress limit based on ASME B31.3. For nozzle load analysis, existing designs still exceed allowable limits, while new designs meet allowable limit values. Flange leakage analysis is not acceptable at the radial flange value. The tank is safe after design changes to the support and expansion joint.

Keyword : Pipe span, Stress Analysis, Nozzle Load, Flange Leakage, Tank Settlement

Nomenclature

OD	Outside Diameter
ID	Inside Diameter
T_a	Temperature Fluida (°F)
T_u	Temperature Lingkungan (°F)
P	Tekanan (Psi)
V	Kecepatan Aliran Fluida (m/s)
g	Percepatan Gravitasi (m/s ²)
ρ	Massa jenis Fluida (kg/m ³)
L	Panjang Pipa (ft)
Z	Section Modulus (inch ³)
L_s	Limitation Of Stress (ft)
L_d	Limitation Of Deflection (ft)
S_L	Longitudinal Stress (Psi)
S_H	Longitudinal Hub Stress (Psi)
S_R	Radial Flange Stress (Psi)
S_T	Tangensial Flange Stress (Psi)
B_S	Bolting Stress (Psi)

1. PENDAHULUAN

Jalur eksisting pipa yang menghubungkan acid storage tank menuju acid transfer pump merupakan jalur pipa kritis, dengan pipa berdiameter 18", nozzle neck 24", pada nozzle N14, dan fluida yang mengalir adalah sulfuric acid.

Dari deskripsi diatas pada line tersebut akan dilakukan analisis tegangan pipa dengan standar ASME B31.3 (proses piping) untuk pembebanan, API 650 atau data perusahaan untuk Nozzle load, ASME VIII Div 1 untuk flange leakage, dan penambahan instrument pada line tersebut untuk mengurangi nilai stress, nozzle load, dan flange leakage. [5],[6]

Pada desain ini akan dilakukan perubahan desain yang hanya pada pipe support dan penambahan equipment expansion joint dikarenakan pada desain eksisting nilai dari analisis tegangan, nozzle load, dan flange leakage masih diatas dari batas nilai ijin. Maka perlu penambahan equipment tersebut dan penggantian jenis pipe support yang dapat mengurangi nilai dari tegangan, nozzle load, dan flange leakage.

2. METODOLOGI. (studi literature)

2.1 Allowable Pipe Span

Perhitungan Maximum Allowable Pipe Span dilakukan untuk mengetahui jarak maksimal antar penyangga. Berdasarkan [1] dinyatakan bahwa penentuan tipe tumpuan pipa dikaitkan dengan derajat kebebasan yang ditahan, 17 kekakuan (stiffness), efek tak-linier, koefisien fiksi, dll. Menurut [2] maximum allowable pipe span yang diijinkan untuk sistem perpipaan horisontal dibatasi oleh 3 faktor utama yaitu tegangan tekuk, defleksi vertikal, dan frekuensi alami. Berikut merupakan perhitungan maximum allowable pipe span berdasarkan limitation of stress dan limitation of deflection.

Limitation of stress

$$L_s = \sqrt{\frac{0,4ZS_h}{W}} \quad (1)$$

Limitation of deflection

$$L_d = \sqrt[4]{\frac{\Delta EI}{13,5W}} \quad (2)$$

2.2 Tegangan pada Sistem Perpipaan

Analisis tegangan pada pipa meliputi tegangan akibat pembebanan sustain, ekspansi thermal, dan occasional. Analisis tegangan pada perpipaan ini menggunakan analisis pada software stress analisis yang dijelaskan pada sub bab di bawah:

2.2.1 Tegangan akibat Beban Sustain

Beban *Sustained* adalah beban yang bekerja secara terusmenerus pada pipa. Tegangan yang terjadi pada beban *Sustained* merupakan hasil dari jumlah tegangan longitudinal SL akibat tekanan, berat, dan beban *Sustained* lain dengan tidak melebihi dari $Sh (SL < Sh)$ [3]. Analisis tegangan akibat pembebanan sustain pada setiap node dicari menggunakan load case 5 (L5) pada software stress analysis. Kombinasi beban pada load case 5 (L5) dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah. Di mana W merupakan berat total pada sistem perpipaan, P merupakan tekanan desain pada sistem perpipaan, dan H merupakan *hanger support*.

2.2.2 Tegangan Beban Ekspansi Thermal

Pada software, analisis tegangan akibat beban ekspansi thermal pada setiap node dicari menggunakan load case 6 (L6). Kombinasi beban pada load case 6 merupakan pengurangan dari load case 3 (L3) dan load case 5 (L5) yang dapat dilihat pada Tabel 1. Beban ekspansi thermal ini diakibatkan oleh adanya panas yang berasal dari luar dengan temperatur fluida yang mengalir di dalamnya dan berdampak pada pemuaian pipa, sehingga mengakibatkan ekspansi thermal.

2.2.3 Tegangan akibat Beban Occasional

Pada software, analisis tegangan akibat beban occasional pada setiap node dicari menggunakan load case 7 (L7). Kombinasi beban pada load case 6 merupakan pengurangan dari load case 4 (L4) dan load case 3 (L3) yang dapat dilihat pada Tabel 1. Beban occasional ini diakibatkan oleh adanya guncangan gempa bumi dan berdampak pada bergesernya kedudukan pipa..

2.3 Flange Leakage Analysis

Menurut [4] Kegunaan utama flange adalah digunakan untuk sambungan pipa dengan fitting, valve, equipment, atau komponen lainnya yang terintegrasi dengan sistem perpipaan. *Stress* yang terjadi pada sambungan *flange* yaitu *logitudinal hub stress*, *radial flange stress*, *tangensial flange stress* dan *bolting stress* dimana nilai *stress* tersebut akan dibandingkan dengan batas ijinnya sesuai dengan standar ASME *Section VIII division 1*. Berikut merupakan perhitungan *logitudinal hub stress*, *radial flange stress*, *tangensial flange stress* dan *bolting stress*.

logitudinal hub stress

$$S_H \leq 1,5 S_f \tag{3}$$

radial flange stress

$$S_R \leq S_f \tag{4}$$

tangensial flange stress

$$S_T \leq S_f \tag{5}$$

bolting stress

$$B_S \leq 2 S_b$$

2.4 Nozzle Load Analysis

Dalam kasus ini selain displacement yang ditimbulkan oleh tank settlement yang diperkirakan akan terjadi, tetapi menurut [5] juga ada displacement yang disebabkan akibat *thermal expansion* dari *shell*. Yang mana formula untuk menghitung *displacement* yang disebabkan akibat *thermal expansion* dari *shell* dapat dilihat sebagai berikut.

Displacement

Δ

= *Tinggi Nozzle x Koefisien thermal expansion*

(7)

Nilai batas untuk menentukan *force* dan *moment* pada beban *nozzle* menggunakan standard dari perusahaan. Untuk nilai batas dari *nozzle neck* yang berukuran 24” menggunakan nilai *force* F_y, F_x, F_z secara berurutan ialah 312.466,000 lbf, 312.466,000 lbf, 390.583,000 lbf, untuk nilai *moment* M_y, M_z, M_x secara berurutan ialah 487.447,000 lb/in, 487.447,000 lb/in, 562.439,100 lb/in.

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Allowable Pipe Span

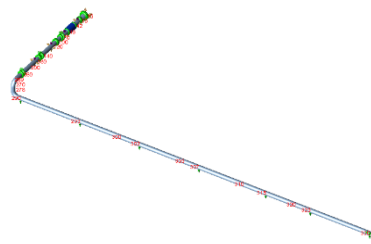
Perhitungan allowable pipe span berdasarkan batasan tegangan dan defleksi menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2). Perhitungan allowable pipe span pada hasilnya tertera pada Tabel berikut:

Tabel 1 Load case pada software stress analysis

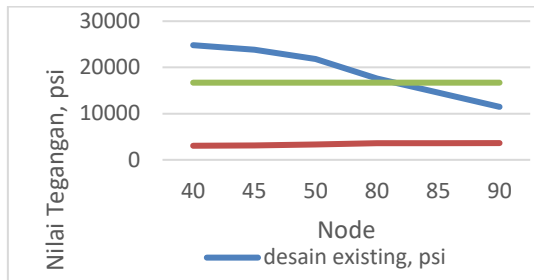
Symbol	Description	Load Combination
L3	Operating	OPE = W+D+T+P+H
L4	Operating	OPE= W+D+T+P+H+U
L5	Sustained	SUS = W+P+H
L6	Expansion	EXP = L3-L5
L7	Occasional	OCC = L4-L3

Tabel 2 Perhitungan Maximum Allowable Pipe Span

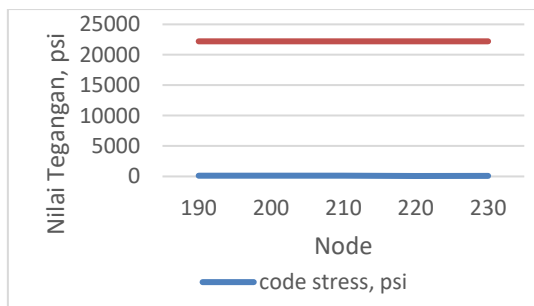
Description	Value	Unit
Density of Pipe	0,289	lb/in ³
Density of Fluid	0,06611294	lb/in ³
Section Modulus (Z)	61	inch ³
Moment Inertia (I)	549	inch ⁴
Allowable Deflection (A)	0,625	inch
Allowable Stress (Sh)	16700	Psi
Modulus Elasticity (E)	2,799.10 ⁷	Psi
Weight of Pipe	48,347	lb/ft
Weight of Fluid	190,8243	lb/ft
Weight of Insulation	0	lb/ft
Total of Weight (w)	239,171	lb/ft
Based on Limitation of Stres	41,276	ft
Based on Limitation of deflection	41,529	ft



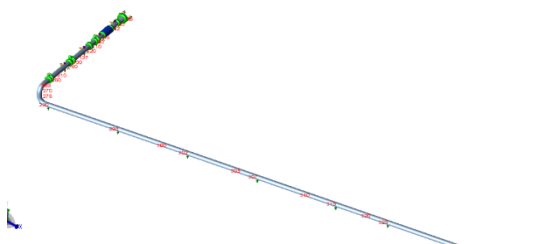
Gambar 1. Permdelan jalur pipa eksisting pada software stress analysis



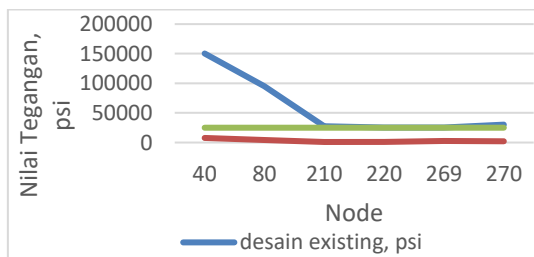
Gambar 3. Grafik perbandingan hasil pembebanan sustain load



Gambar 5. Grafik perbandingan hasil pembebanan sustain load



Gambar 2. Permdelan jalur pada software stress analysis



Gambar 4. Grafik perbandingan hasil pembebanan sustain load

Tabel 3 Perhitungan Flange leakage

Description	Value	Unit
-------------	-------	------

Material Flange	A182	-
Flange Class	Gr.F316	-
Flange Grade	150	-
Flange Outside Diameter (A)	23,50	inch
Flange Inside Diameter (B)	17,25	inch
Flange Thickness	1,50	inch
Flange Face ID	17,25	inch
Flange Face OD	21	inch
Small End Hub Thickness (g0)	0,2500	inch
Large End Hub Thickness (g1)	1,351	inch
Hub Length (h)	3,94	inch
Y	5,44	inch
Hub Diameter	19,88	inch
Material Bolt	SA-193 B7	-
Bolt Circle Diameter	22,75	inch
Number of Bolt	16	inch
Bolt Diameter	1,125	inch
Gasket Outer Diameter	20,75	inch
Gasket Inner Diameter	18,69	inch
Uncompressed Gasket Thickness	0,175	inch
Effective Gasket Modulus	27,0x10	psi
Leak Pressure Ratio (m)	3	-
Gasket Seating Stress (y)	10000	psi
Facing Sketch	1a	-
Facing Column	2	-
logitudinal hub stress	7.846	psi
radial flange stress	9.468	psi
tangensial flange stress	2.607	psi
bolting stress	9.258	psi

3.2 Analisis Tegangan Sistem Perpipaan

Permodelan jalur perpipaan line jalur eksisting pipa yang menghubungkan *acid storage tank* menuju *acid transfer pump* menggunakan software stress analysis. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan yang memenuhi batas ijin yang telah ditentukan. Gambar 1 menunjukkan permodelan jalur pipa eksisting pada software stress analysis dan Gambar 2 menunjukkan pemodelan jalur pipa baru

3.2.1 Perhitungan Tegangan akibat Beban Sustain

Hasil dari perbandingan beban sustain dari pemodelan jalur pipa lama dengan jalur pipa baru dapat dilihat pada Gambar 3 grafik dibawah ini.

3.2.2 Perhitungan Tegangan akibat Beban Sustain

Hasil dari perbandingan beban ekspansi thermal dari pemodelan jalur pipa lama dengan jalur pipa baru dapat dilihat pada Gambar 4 grafik pembebanan sustain;

Tabel 4 Displacement akibat thermal movement

Description	Value	Unit
Penurunan tangki	75	mm
Thermal expansion shell	3,084	mm
Displacement	71,9	mm

Tabel 5 Pembebanan pada nozzle

Description	Value	Unit
Sustain (Fy)	-155,17	lbf
Sustain (Fz)	-78,67	lbf
Sustain (Fx)	-262,08	lbf
Sustain (My)	-240,26	lb/in

<i>Sustain (Mz)</i>	-108,76	<i>lb/in</i>
<i>Sustain (Mx)</i>	347	<i>lb/in</i>
<i>Exp (Fy)</i>	121	<i>lbf</i>
<i>Exp (Fz)</i>	-27,67	<i>lbf</i>
<i>Exp (Fx)</i>	41,17	<i>lbf</i>
<i>Exp (My)</i>	-1.157	<i>lb/in</i>
<i>Exp (Mz)</i>	555,67	<i>lb/in</i>
<i>Exp (Mx)</i>	-3.735	<i>lb/in</i>
<i>Occ (Fy)</i>	-0,25	<i>lbf</i>
<i>Occ (Fz)</i>	8,92	<i>lbf</i>
<i>Occ (Fx)</i>	3,58	<i>lbf</i>
<i>Occ (My)</i>	44,36	<i>lb/in</i>
<i>Occ (Mz)</i>	-16,58	<i>lb/in</i>
<i>Occ (Mx)</i>	-2,18	<i>lb/in</i>

3.2.3 Perhitungan Tegangan akibat Beban Sustain

Hasil dari perbandingan beban occasional dari pemodelan jalur pipa lama dengan jalur pipa baru dapat dilihat pada Gambar 5 grafik dibawah ini

3.3 Perhitungan Flange Leakage Analysis

Analisis dilakukan menggunakan software stress analysis berdasarkan *logitudinal hub stress*, *radial flange stress*, *tangensial flange stress* dan *bolting stress* yang mana untuk detail masing – masing load case ini dapat dilihat pada Tabel 3.

3.4 Perhitungan Nozzle Load Analysis

Analisis perhitungan *nozzle* dilakukan menggunakan software stress analysis berdasarkan *force* dan *moment* dari *nozzle neck tank*. Sebelum menghitung *force* dan *moment* akan dihitung untuk nilai dari *displacement* pada *nozzle* yang diakibatkan *thermal expansion/thermal movemnet*, yang mana data dari hasil perhitungan *displacement* dapat dilihat pada Tabel 4.

Kemudian untuk detail masing – masing nilai dari *force* dan *moment* dari *nozzle neck* dapat dilihat pada Tabel 5.

Hasil dari perhitungan beban pada *nozzle* dari jalur pipa baru tersebut memiliki nilai yang masih dibawah dari nilai batas maksimum.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis untuk menganalisa tegangan sistem perpipaan pada line discharge acid tank menuju acid transfer pump telah dilakukan. Hasil analisis menunjukkan bahwa besarnya tegangan akibat pembebanan *sustain*, *thermal*, dan *occasional* yang terjadi pada sistem perpipaan tidak memenuhi nilai batas berdasarkan ASME B31.3 pada pembebanan *sustain* dan *thermal*. Kemudian untuk analisis *nozzle load* dan *flange leakage* juga masih belum memenuhi untuk nilai batas ijin berdasarkan API650 dan ASME Div.VIII Sec.1. Jadi untuk sistem line perpipaan diatas perlu dilakukanya redesain pada *pipe support* dan penambahan *equipment expansion joint* pada jalur yang terinstal banyak *equipment*. Untuk hasil dari redesain jalur perpipaan diatas untuk nilai tegangan, *nozzle load*, dan *flange leakage* telah memenuhi dari

nilai batas ijinya Berdasarkan ASME B31.3, API650, ASME Div. 8 Sec.1.

5. PUSTAKA

- [1] COADE. (1998). Pipe Stress Analysis Seminar Note. Texas: Coade,Inc
- [2] Kannappan, Sam. (1986). Introduction to Pipe Stress Analysis. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- [3] Chamsudi, A. (2005). *Piping Stress Analysis*. Serpong: Badan Tenaga Nuklir Nasional Puspitek. [4] Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (1996). *Fundamentals of heat and mass transfer* (Vol. 6). Wiley New York.
- [4] Parisher, R. A. (2002). *Pipe Drafting and Design Second Edition*. Boston: Butterworth-Heinemann.
- [5] Fasya. (2020). *Desain Jalur Perpipaan Yang Terhubung Storage Tank Dengan Mempertimbangkan Adanya Tank Settlement*. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [6] Utomo, (2023). Simulasi Tegangan pada Sistem Perpipaan *line Outlet Condensat Storage Tank* menuju *Condensat Transfer Pump* Akibat *Tank Settlement*. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.