

## Analisis Tegangan pada Jalur Discharge Pompa Upgrade Sistem Hydrant Tanki Amonia 9000 MT

**Rizky Pratama Choirudin<sup>1\*</sup>, Adi Wirawan Husodo<sup>2</sup>, Ekky Nur Budiyo<sup>3</sup>**

Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia<sup>1\*,2,3</sup>

Email: [rpratama@ppns.ac.id](mailto:rpratama@ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>; [adi\\_wirawan@ppns.ac.id](mailto:adi_wirawan@ppns.ac.id)<sup>2</sup>; [ekky@ppns.ac.id](mailto:ekky@ppns.ac.id)<sup>3</sup>;

**Abstract** – In planning the process of upgrading ammonia tank hydrant system 25-TK-801 there is a path that passes through pump discharge. The two pumps are the main pump and the jockey pump. The pump line is a critical line, so it needs to be analyzed. Stress analysis was carried out on 4 pipelines with line numbers 100-FW-A2-a-9006, 200-FW-A2-a-9004, 200-FW-A2-a-9005 and 200-FW-A2-a-9007. Stress analysis using sustained, occasional and thermal loads based on ASME B31.3. The allowable pipe span calculation takes from the smallest value between the minimum distance based on the stress limit and the deflection limit. The calculation results of allowable pipe span can be accepted because the amount of support meets the minimum required amount. The calculation of flexibility has a value less than KI which is 0.000692, so the path is declared flexible. The highest stress values at line numbers 100-FW-A2-a-9006, 200-FW-A2-a-9004, 200-FW-A2-a-9005 and 200-FW-A2-a-9007 for a sustained load 3157.1 psi, occasional load 19711 psi and thermal load 1420.6 psi. The stress values for three load cases do not exceed the allowable stresses. Based on the operation of the pump, the stress value still below the allowable value, so that the operation of the pump can be carried out on both pumps or the main pump only. For the nozzle load value is still below the allowable nozzle load value, so the design made and connected to pump discharge nozzle is declared safe.

**Keywords:** Allowable Span, Flexibility, Sustained Load, Occasional Load, Thermal Load

### Nomenclature

$\Delta$	Allowable deflection (in <sup>4</sup> )
<b>OD</b>	Outside Diameter (in)
<b>ID</b>	Inside Diameter (in)
<b>L<sub>s</sub></b>	Pipe span limitation of stress (ft)
<b>L<sub>d</sub></b>	Pipe span limitation of deflection (ft)
<b>Z</b>	Section Modulus (in <sup>3</sup> )
<b>S<sub>h</sub></b>	Allowable tensile stress (psi)
<b>S<sub>b</sub></b>	Allowable bending stress (psi)
<b>S<sub>t</sub></b>	Allowable torsion stress (psi)
<b>W</b>	Berat total (lb/ft)
<b>W<sub>pipe</sub></b>	Berat total pipa (lb/ft)
<b>W<sub>fluid</sub></b>	Berat total fluida (lb/ft)
<b>E</b>	Modulus elastisitas
<b>I</b>	Momen inerti
<b>L</b>	Panjang total pipa (ft)

### 1. PENDAHULUAN

Pada proyek pekerjaan *upgrade* sistem *hydrant* tanki ammonia 9000 MT terdapat jalur yang melewati kedua *discharge* pompa. Kedua pompa tersebut yaitu *main pump* dan *jockey pump*. Analisis tegangan dibutuhkan karena pada jalur tersebut termasuk ke dalam *critical line*. Menurut [1] yaitu semua jalur utama (*main line*) yang menghubungkan langsung ke *nozzle* mesin rotasi. karena jalur pompa tersebut merupakan kriteria *critical line*, maka perlu dilakukan analisis tegangan.

Pada penelitian terdahulu, penentuan *allowable pipe span* meliputi perhitungan berat total pipa, perhitungan maksimum jarak yang diijinkan antara penyangga pipa,

perhitungan maksimum tegangan tekuk dan defleksi [2]. Untuk melakukan perhitungan berat total pipa yaitu pertama menghitung berat pipa, berat fluida dan berat insulasi (jika ada). Langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan maksimum jarak yang diijinkan berdasarkan batas defleksi dan batas tegangan. Nilai *pipe span* diambil dari nilai terkecil dari perhitungan tersebut. Menurut [3] Perhitungan fleksibilitas berfungsi untuk memastikan apakah tegangan, gaya dan defleksi statik akibat beban tekanan dan berat dalam keadaan aman. Beberapa kajian terkait perhitungan fleksibilitas cukup banyak dilakukan. [3] melakukan penelitian tentang perhitungan fleksibilitas menggunakan metode *simplified flex analysis* yang menunjukkan jalur pipa untuk mengetahui sistem tersebut fleksibel atau tidak. Menurut [4] analisis tegangan yaitu kegiatan untuk memperoleh perilaku sistem perpipaan. [5] melakukan analisis tegangan pada *vertical loop* yang tersambung pada *discharge* pompa. Analisis tegangan meliputi *sustained*, *occasional* dan *thermal expansion load* serta analisis beban *nozzle* yang menggunakan metode pengoperasian pompa dan nilai yang diambil dari kondisi desain dan kondisi operasi.

Pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan *allowable pipe span*, perhitungan fleksibilitas dan analisis tegangan pada jalur *discharge* berdasarkan kondisi pembebanan sustain, okasional dan ekspansi thermal serta analisis beban *nozzle* dengan acuan [5] dan [6] Analisis dilakukan menggunakan *software* analisis tegangan untuk dapat mengetahui tegangan serta beban yang diterima dari sistem.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Ketebalan Minimum Pipa

Perhitungan untuk menentukan ketebalan material diatur didalam *code* yang digunakan dalam acuan pengerjaan sebuah proyek. Penentuan ketebalan minimum (*minimum thickness*) pipa lurus berdasarkan [6] menggunakan Persamaan (1).

$$t = \frac{P \times OD}{2 (S_x E_x W + P Y)} \quad (1)$$

### 2.2 Maximum Allowable Pipe Span

Perhitungan *Maximum Allowable Pipe Span* dilakukan untuk mengetahui jarak maksimal antar penyangga. Pada perhitungan *Allowable Span* seluruh satuan menggunakan imperial unit.

$$W_{pipe} = \frac{\pi}{4} \times (OD^2 - ID^2) \times \text{Density Pipe} \times \text{length} \quad (2)$$

$$W_{fluid} = \frac{\pi}{4} \times (ID^2) \times \text{length} \times \text{Density of Fluid} \quad (3)$$

$$W_{valve} = (\text{Gate valve } 8" \text{ \& Flange } 8" / \text{length}) \quad (4)$$

Kondisi *limitation of stress dan limitation of deflection* berdasarkan berat pipa, fluida, dan *valve* dapat dihitung dengan rumus dari [8] yaitu:

- *Based Limitation of Stress*

$$L_s = \sqrt{\frac{0.4 \times Z \times S_h}{W}} \quad (5)$$

- *Based Limitation of Deflection*

$$L_d = \sqrt[4]{\frac{\Delta EI}{22.5 \times W}} \quad (6)$$

- Perhitungan *Support*

$$\sum s = \frac{L_{pipa}}{L_s} \quad (7)$$

### 2.3 Analisis Fleksibilitas Pipa

Analisis fleksibilitas pipa ini akan dilakukan pada jalur *discharge*. Nilai fleksibilitas pipa dapat dicari dengan menggunakan rumus Persamaan (8) untuk mencari beberapa variabel yang terdapat pada persamaan tersebut maka dapat mengikuti langkah-langkah di bawah ini dengan mengacu pada [6].

$$\frac{DY1}{(L-U)^2} \leq K1 \quad (8)$$

### 2.4 Tegangan Pada Pipa

Tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser (*shear stress*). Tegangan normal meliputi tegangan longitudinal, tegangan tangensial dan tegangan radial.

Berikut adalah penjelasan dan rumus untuk mendapatkan masing-masing nilai tegangan longitudinal.

- Tegangan Aksial

$$F_{ax} = P \times A_i \quad (9)$$

$$A_i = \frac{\pi(OD^2)}{4} \quad (10)$$

$$A_m = \frac{\pi(OD^2 - OD^2)}{4} \quad (11)$$

$$S_a = \frac{F_{ax}}{A_m} \quad (12)$$

- Tegangan Longitudinal Tekan

$$S_b = \frac{\sqrt{(i_t M_i)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z} \quad (17)$$

- Tegangan Torsi

$$S_t = \frac{Mt}{ZZ} \quad (18)$$

Jadi tegangan longitudinal menurut [6] adalah

$$SL = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + (2S_t)^2} \quad (19)$$

- Tegangan Tangensial (*Hoop Stress*) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh tekanan internal yang bekerja secara tangensial.

$$SH = \frac{PxID \times L}{2xLxt} = \frac{PxID}{2xt} = \frac{PxOD}{2xt} \quad (20)$$

- Tegangan yang arahnya sama dengan sumbu radial disebut tegangan radial. Tegangan ini berupa tegangan kompresi (negatif) jika ditekan dari dalam pipa akibat tekanan dalam (*internal pressure*), dan berupa tegangan tarik (positif) jika didalam pipa terjadi tekanan hampa (*vacuum pressure*)

$$Rm = \frac{ro + ri}{2} \quad (21)$$

$$SR = \frac{P(ri^2 + ri^2 + ro^2)}{ro^2 + ri^2} \quad (22)$$

### 2.5 Tegangan Ijin

Persamaan penentuan nilai aktual terhadap batasan yang diijinkan pada setiap pembebanan tersebut dijelaskan sebagai berikut [6].

#### 2.5.1 Tegangan Ijin Akibat Sustained Load

Jumlah dari tegangan longitudinal (SL) yang disebabkan oleh tekanan, berat pipa dan semua komponen dalam sistem perpipaan merupakan pembebanan akibat *sustained* yang tidak boleh lebih dari tegangan ijin pada (Sh). Dimana Sh diperoleh dari [6]. Nilai tegangan izin untuk kondisi akibat pembebanan sustain ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$SL = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + (2S_t)^2} < Sh \quad (23)$$

#### 2.5.2 Tegangan Ijin Akibat Occasional Load

Berdasarkan [6] pada ketentuan 302.3.6 menyebutkan bahwa jumlah tegangan longitudinal yang disebabkan oleh tekanan, berat dan pembebanan sustain yang lain dan tegangan yang dihasilkan karena beban *occasional* seperti angin atau gempa bumi tidak melebihi 1.33 kali nilai tegangan izin dasar (Sh).

$$S \text{ due to Occasional load} \leq 1.33Sh \quad (24)$$

### 2.5.3 Tegangan Ijin Akibat Expansion Load

Tegangan izin akibat kondisi expansion thermal yang terjadi pada suatu material pipa dan komponennya akibat beban thermal yang berulang, expansion ditetapkan berdasarkan [6] dalam ketentuan 302.3.5.

$$S \text{ due to Thermal load} \leq S_A$$

$$S_A = f (1.25(S_c + 0.25S_h)) \quad (25)$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Ketebalan Minimum Pipa

Data spesifikasi teknis pipa ditunjukkan pada Tabel 1, dan data spesifikasi fluida ditunjukkan pada table 2. Hasil ketebalan minimum (*minimum thickness*) pipa lurus berdasarkan persamaan (1) untuk pipa 8” yaitu 0.154 *inch*, sedangkan untuk pipa 4” yaitu 0.137 *inch*.

Tabel 1: Data Spesifikasi Pipa.

Material Data			
Description	N	Value	Unit
Pipe Material	CS A53 GR. B SCH 40		
Outside Diamater 8”	OD	8.625	inch
Inside Diamater 8”	ID	7.98	inch
Outside Diamater 4”	OD	4.5	inch
Inside Diamater 4”	ID	4.026	inch
Wall Thickness 8”	t	0.322	inch
Wall Thickness 4”	t	0.237	inch
Density Pipe	$\rho_{Pipe}$	0.284	lb/in <sup>3</sup>
Section Modulus	Z	16.8	inch <sup>3</sup>
Moment Inertia	I	72.5	inch <sup>4</sup>
Modulus Elasticity	E	29338000	psi
Allowable Stress	S	20000	psi
Max Allowable Stress	S <sub>a</sub>	20.000	psi
Allowable Deflection	$\Delta$	0.625	inch

Tabel 2: Data Spesifikasi Fluida.

Description	Notation	Value	Unit
Fluid	Fresh Water		
Density Fluid	$\rho_{Fluid}$	0.0361273	lb/in <sup>3</sup>
Design Pressure	P (ds)	170,680	psi
Operation Pressure	P (op)	142.332	psi
Design Temperature	T (ds)	93.2	(F)
Operation Temperature	T (op)	93.2	(F)

### 3.2 Maximum Allowable Pipe Span

Dalam pengerjaan ini digunakan Persamaan (5) dan (6). Untuk perhitungan berdasarkan batas tegangan

diperoleh nilai sebesar 17.088 *ft*, sedangkan hasil perhitungan berdasarkan batas defleksi sebesar 18.928 *ft*. Hasil perhitungan jarak minimum antar penyangga diambil dari nilai yang paling kecil diantara nilai jarak minimum berdasarkan batas tegangan dan berdasarkan batas defleksi. Sehingga nilai yang digunakan ialah berdasarkan batas tegangan sebesar 17.088 *ft* dan jumlah *support* sebanyak 2 buah.

### 3.3 Analisis Fleksibilitas Pipa

Perhitungan mengacu pada Persamaan (8). Hasil perhitungan dari fleksibilitas pipa yaitu sebesar 0.000692. Nilai ini masih dibawah dari ketentuan K1, sehingga hasil perhitungan dapat dinyatakan fleksibel. Perhitungan analisis fleksibilitas dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3: Data dan Hasil Perhitungan Analisis Fleksibilitas Pipa.

DESCRIPTION	VALUE	UNIT
L pipa X	9.761	ft
L pipa Y	15.639	ft
L pipa Z	28.091	ft
Coefficient B	0.178	in./100ft
$\Delta X$	-0.09	in
$\Delta Y$	0.0278	in
$\Delta Z$	-0.00458	in
Resultant Displacement (Y)	0.0943	in
L total	53.491	ft
Jarak kedua anchor (U)	19.207	ft
Factor (f)	1.0	-
S hot	20000	psi
S <sub>a</sub>	30000	psi
E <sub>a</sub>	29338000	psi
K1	0.03	-
$\frac{\Delta Y_1}{(L - U)^2}$	0.000692	-

Tabel 4: Output Stress pada Software Analisis Tegangan.

No	Load Case	Code Stress (lb/in <sup>2</sup> )	Allowable Stress (lb/in <sup>2</sup> )	Ratio (%)
1	L4 (SUSTAINED) L4 = W + P1	3157.1	20000	15.8
2	L6 (OCCASIONAL) L5 = W + P1 + U1	19711	26600	68.8
3	L7 (EXPANSION) L7 = L2 - L4	1420.6	48537.1	2.9

### 3.4 Tegangan Akibat Sustained Load

Perhitungan nilai tegangan mengacu pada persamaan (23). Tabel 4 merupakan hasil *output stress* di beberapa segmen pada jalur *discharge*. Nilai tegangan tertinggi berada pada node 470-480 dengan nilai sebesar 3157.1 *psi*. Hasil tersebut menunjukkan nilai tegangan tertinggi akibat pembebanan sustain pada kondisi desain yang masih di bawah batas izinnya.

### 3.5 Tegangan Akibat Occasional Load

Perhitungan nilai tegangan mengacu pada persamaan (24). Tabel 4 merupakan hasil *output stress* pada beberapa segmen jalur *discharge*. Nilai tegangan

tertinggi berada pada node 20-25 dengan nilai sebesar 19711 *psi*. Hasil tersebut menunjukkan nilai tegangan akibat pembebanan okasional pada kondisi desain yang masih di bawah batas izinnnya.

**3.6 Tegangan Akibat Thermal Expansion Load**

Perhitungan nilai tegangan akibat pembebanan ekspansi termal mengacu pada persamaan (25). Tabel 4 merupakan hasil *output stress* pada beberapa segmen pada jalur *discharge*. Nilai tegangan tertinggi berada pada node 150-260 dengan nilai sebesar 1420.6 *psi*. Hasil tersebut menunjukkan nilai tegangan akibat pembebanan ekspansi termal pada kondisi desain yang masih di bawah batas izinnnya.

**3.7 Analisis Beban Noozle Pompa**

Perhitungan *noozle load* ini berdasarkan *load case* dan variasi pengoperasian pompa pada *discharge pump* yang mengacu pada [5] dan juga *standard* dari pompa itu sendiri dengan menggunakan *software* analisis tegangan. Hasil nilai analisis beban *noozle pompa* terdapat pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5: Data *Noozle Load Pompa Jockey*.

Pump	Node	Load Case	Fx lb	Fy lb	Fz lb	Mx in.lb	My in.lb	Mz in.lb	Keterangan
<i>Allowable Noozle DN 100</i>									
Pompa Jockey atau Jockey Pump	20	W+P1+T1	19	-5	-243	119	67	-4	2 Pompa Beroperasi (Desain) Pompa Utama atau Main Pump Beroperasi (Operasi)
		W+P2+T2	17	-2	-238	30	42	-3	

Tabel 6: Data *Noozle Load Pompa Utama*.

Pump	Node	Load Case	Fx lb	Fy lb	Fz lb	Mx in.lb	My in.lb	Mz in.lb	Keterangan
<i>Allowable Noozle DN 200</i>									
Pompa Utama atau Main Pump	240	W+P1+T1	24	5	-726	-340	349	-32	2 Pompa Beroperasi (Desain) Pompa Utama atau Main Pump Beroperasi (Operasi)
		W+P2+T2	21	2	-393	58	219	-20	

**4. KESIMPULAN**

Dari hasil perhitungan dan analisis, hasil perhitungan *allowable pipe span* dapat diterima karena jumlah *support* memenuhi jumlah minimum yang dibutuhkan. Untuk perhitungan fleksibilitas masih dibawah ketentuan, sehingga jalur tersebut dapat dinyatakan fleksibel. Nilai tegangan dari ketiga pembebanan masih dibawah *allowable stress* berdasarkan [6] dan menunjukkan tidak ada masalah untuk desain yang terpasang langsung pada *discharge* pompa. Nilai beban *noozle* pompa juga masih di bawah nilai *allowable noozle load* pompa.

**5. DAFTAR PUSTAKA**

[1] DNV-RP-D101. (2008). *Structural Analysis of Piping Systems*. Havik, Norway.  
 [2] Mahardhika, P. (2017). Penentuan *Allowable Span* antar Penyangga Pipa SLF Berdasarkan Tegangan, Defleksi dan Frekuensi Alami. *Jurnal Iptek*, Volume 21.2, pp. 27-34.

[3] Mahardhika, P. (2018). Analisis *Symetrical dan Nonsymetrical Vertical Expansion Loop* untuk Meningkatkan Fleksibilitas dan Menurunkan Tegangan Pipa Berdasarkan ASME B31.3. *Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Kerekeyasaan*, Volume 42.1, pp 63-70.  
 [4] Tijara, P. (2004). Pelatihan Dasar Analisis Tegangan Menggunakan *Software* COADE CAESAR II. PT. Tijara Pratama.  
 [5] Tauladhan, G., Husodo, A.W., Mahardhika, P. (2018). Analisis Desain Pipa GRP pada *Line Discharge UF Backwash Pump* Dengan *Vertical Loop* (Studi Kasus Unit Pengolahan *Water Treatment* PLTU Unit 2-1 X 1000 Mw Cirebon). *6th Conference on Piping Engineering and Its Application*, pp. 103-108.  
 [6] ASME. (2016). ASME B31.3 Process Piping. New York: The American Society of Mechanical Engineers.  
 [7] Chamsudi, A. (2005). *Piping Stress Analisis*. Diktat - Piping Stress Analisis. Jakarta.  
 [8] Kannappan, Sam. (1986). *Introduction for Pipe Stress Analysis*. USA: John Wiley & Sons, Inc.