

# ANALISIS TEGANGAN PIPA DAN DEFLEKSI PADA JALUR PENGHUBUNG REAKTOR (RE-101) PADA VINYLCHLORIDE MONOMER (VCM) PLANT PT ASAHIMAS CHEMICAL DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE CEASAR II 2016

Tito Hadji Agung S.<sup>1,a</sup>, Muh. Budi Nur Rahman<sup>1,b</sup>, Naufal Anshari Usman<sup>c</sup>  
<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah  
Yogyakarta  
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan,DIYogyakarta, Indonesia 55183  
<sup>a</sup>Naufalpool@gmail.com

---

## Abstract

The piping system is very important, the function of piping system is to flow fluid to one point to another. However, overstress is possible in designing of piping system. One of them is the piping system connecting RE-101 in VCM plant at Asahimas Chemical company because a large diameter up to 36". The purpose of this design is to know the maximum of allowable stress and deflection in the piping system in order to avoid excessive stress and deflection which can cause the disruptive operation of the piping system.

This designing is conducted by collected required data from Asahimas Chemical company then make a model on *CAESAR II 2016*. The calculation result that has been done by using *software* is analyzed with compare the maximum stress and deflection must not exceed than allowable stress and deflection. If the ratio more than 100%, the piping system is needed to redesign by modify support that already exist or adding new support on certain location.

The initial design of the piping system shows over than 99% and 98,7% stress ratio at 1st and 10th loadcase. All of maximum deflection values that occurs in every loadcase is exceed, so that it is required to redesign the piping system. The redesign that has been done were added 9 new support at certain location and modify 3 existing support. After modification on the piping system, there was a decrease stress ratio on loadcase 1 and 10 to 29.3% and 88.6%. For the deflection value also decreased up to 7.91 mm on X axis, 8.04 mm on Y axis, and 8.35 mm on Z axis so it can be declare that this piping systems are good and safe.

**Keyword :** *Piping stress analysis, piping system, stress, deflection*

---

## 1. PENDAHULUAN

Peran instalasi sistem perpipaan di dunia industri sangatlah penting, hampir semua industri memerlukan sistem perpipaan. Fungsi sistem perpipaan yaitu mengalirkan fluida dari satu titik ke titik lainnya, baik yang berwujud gas, cair maupun campuran. Dalam perancangan dan mendesain sistem perpipaan dimungkinkan adanya jalur pipa yang mengalami *overstress* atau biasa disebut jalur pipa kritis. Jalur pipa kritis ditandai dengan diameter pipa yang besar, beroperasi pada suhu dan tekanan yang tinggi. Jika terjadi *overstress* maka akan menyebabkan kegagalan (*failure*) pada sistem perpipaan tersebut dan akan membahayakan keselamatan makhluk hidup dan lingkungan sekitar.

Analisis tegangan pipa sangat diperlukan untuk menganalisa tegangan yang terjadi guna menghindari terjadinya *overstress* pada suatu sistem perpipaan. Contoh jalur pipa kritis yaitu pada jalur pipa penghubung RE-101 pada *VCM plant* PT Asahimas Chemical dikarenakan diameter yang besar hingga 36". Analisa dilakukan dengan permodelan

secara komputasi numerik untuk memudahkan perhitungan matematika dengan menggunakan *software CAESAR II 2016* dan akan mengacu pada *Code ASME B31.3 Process Piping*. *CAESAR II 2016* dipilih karena mudah dalam membuat permodelan serta mempunyai macam-macam pembebanan statis dan dinamis yang dapat disesuaikan dengan keinginan *user*. Setelah dilakukan perhitungan dan analisis jika ada bagian dari sistem perpipaan yang mengalami *overstress* maka dicarikan beberapa solusi untuk mengatasi tegangan berlebih tersebut sesuai dari jenis beban yang menyebabkan *overstress* tersebut.

## 2. METODE PENELITIAN

Perancangan ini dilakukan dengan mengumpulkan data-data yang diperlukan dari PT Asahimas Chemical lalu membuat pemodelan dengan aplikasi *CAESAR II 2016*. Hasil perhitungan dengan menggunakan *software* dianalisis dengan membandingkan nilai tegangan dan defleksi maksimum yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan dan defleksi ijin. Jika rasionya melebihi 100% maka diperlukan modifikasi berupa penambahan *support* atau memodifikasi *support* yang sudah ada.

### 2.1 Data-data untuk Pemodelan

Ada beberapa data yang diperlukan untuk merancang dan membuat pemodelan dalam *software*

#### 2.1.1 Gambar Isometrik Jalur Pipa

Gambar isometrik ini berisi Gambar isometri jalur pipa beserta keterangan lain berupa tekanan internal dan temperatur fluida operasi maupun desain, nomor jalur, dan lain sebagainya

#### 2.1.2 Piping Materials Specification

Data ini berisi tentang semua kalsifikasi pipa dan komponen perpipaan lainnya, baik material, *rating class*, standar komponen, dan lain sebagainya.

#### 2.1.3 Spreadsheet

*Spreadsheet* berisi data geomteri lengkap sistem perpipaan beserta *node* yang sudah dibuat di *software Ms.Excel 2013* sebagai panduan dalam pembuatan model di *CAESAR II 2016*

## 2.2 Penentuan Loadcase

*Loadcase* ditentukan berdasarkan data-data yang diperoleh. Berikut ini merupakan *loadcase* atau pembebanan yang dapat dikalkulasikan pada jalur penghubung RE-101 ke *equipment* lain pada *VCM plant* PT Asahimas Chemical.

**Tabel 1.** Loadcase yang akan digunakan dalam perancangan

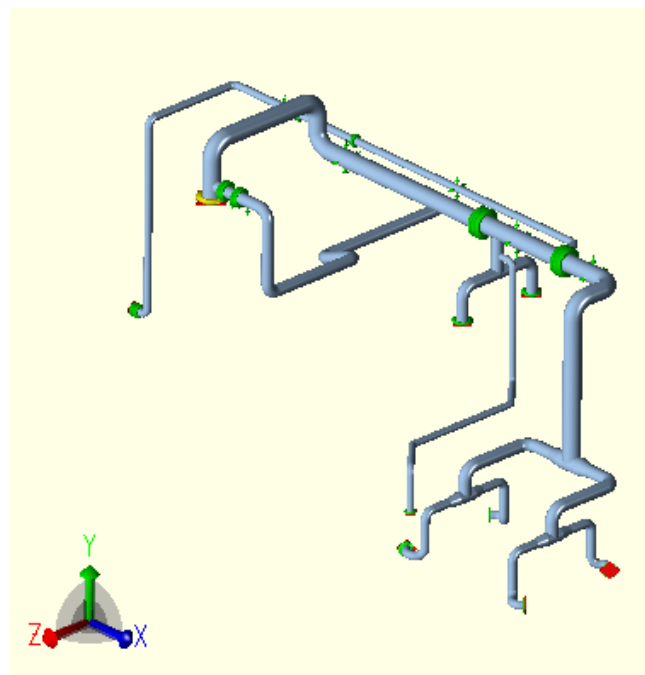
Loadcase	Deskripsi Loadcase
1	L1 = WW+HP Case of Hydrotest
2	L2 = W+T1+P1 (OPE) Operating Case at design condition (T1)
3	L3 = W+P1 (SUS) Case of sustained at cold design condition (P1)
4	L4 = U1 (OCC) Case of seismic acceleration in X direction
5	L5 = U2 (OCC) Case of seismic acceleration in Y direction
6	L6 = U3 (OCC) Case of seismic acceleration in Z direction
7	L7 = WIN1 (OCC) Wind in +X
8	L8 = WIN2 (OCC) Wind in +Z
9	L9 = WNC (SUS) Case of Weight empty
10	L10 = L2-L3 (EXP) Expansion at design condition
11	L11 = L4+L5+L6 (OCC) Seismic acceleration combine all direction
12	L12 = L7+L8 (OCC) Maximum of wind Max
13	L13 = L3+L12 (OCC) Maximum wind combined with sustained
14	L14 = L3+L11 (OCC) Case of seismic acceleration combined with sustained

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Setelah membuat pemodelan sesuai data-data yang sudah dijabarkan sebelumnya maka langkah selanjutnya yaitu :

**3.1 Error Checking**

Setelah membuat pemodelan dengan menggunakan data-data yang diperoleh, diperlukan pengecekan eror (*error checking*) pada model yang telah dibuat di *software CAESAR II 2016*. Jika tidak terdapat error maka bisa langsung dilakukan perhitungan



**Gambar 1.** Visualisasi Pemodelan Jalur Pipa

### 3.2 Hasil Perhitungan Desain Awal

#### 3.2.1 Analisis Tegangan.

Diperlukan perhitungan dengan menggunakan *software* untuk mengetahui nilai tegangan ijin tiap *loadcase* nya sesuai *code* yang digunakan yaitu ASME B31.3 *process piping*.

**Tabel 2.** Nilai tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan

Loadcase	Code Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Allowable Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Node	Ratio (%)
L1 = WW+HP (SUS)	136,5	137,9	770	99
L2 = W+T1+P1 (OPE)	319,4		130	
L3 = W+P1 (SUS)	52,8	137,9	770	38,3
L4 = U1 (OCC)	24,2	183,4	698	13,2
L5 = U2 (OCC)	15,0	183,4	30	8,2
L6 = U3 (OCC)	13,2	183,4	478	7,2
L7 = WIN 1 (OCC)	8,5	183,4	1058	4,7
L8 = WIN 2 (OCC)	3,8	183,4	970	2,1
L9 = WNC (SUS)	50,8	137,9	770	36,8
L10 = L2-L3 (EXP)	318,5	322,2	130	98,9
L11 = L4+L5+L6 (OCC)	26,8	183,4	30	14,6
L12 = L7+L8 (OCC)	9,1	183,4	1058	5,0
L13 = L3+L12 (OCC)	52,7	183,4	770	28,7
L14 = L3+L11 (OCC)	52,4	183,4	769	28,6

Hasil kalkulasi dengan menggunakan *CAESAR II 2016* menunjukkan bahwa tidak ada *loadcase* yang menyebabkan *overstress* pada sistem perpipaan, namun terdapat 2 *loadcase* yang hampir mencapai *maximum allowable stress*-nya. *Loadcase* tersebut adalah *loadcase* 1 dan *loadcase* 10 dengan nilai 99% dan 98,8%. Meskipun tidak mencapai 100%, redesain tetap perlu dilakukan karena nilai tegangan hampir melewati batas ijin.

#### 3.2.2 Analisis Defleksi

Analisis defleksi ini dilakukan dengan membandingkan nilai defleksi maksimum arah vertikal (Y) pada pipa horizontal terhadap nilai defleksi ijin. Berbeda dengan analisa tegangan, diperlukan perhitungan secara manual untuk mengetahui nilai ijin defleksi.

Menghitung nilai defleksi harus disesuaikan dengan diameter pipa, span dan jenis tumpuan sesuai terjadinya defleksi maksimum pada sistem perpipaan. Berikut perhitungan untuk mencari nilai defleksi untuk tumpuan jepit dan sederhana pada pipa dengan diameter 36".

1. Mencari nilai momen lentur maksimum ( $M_{max}$ ):

$$S = \frac{M_{Max}}{Z}$$

Maka :

$$M_{Max} = S Z$$

Dimana :

$$Z = \frac{\pi}{32 D_o} (D_o^4 - D_i^4)$$

Diketahui :

$$D_o = 914 \text{ mm}$$

$$D_i = 895 \text{ mm}$$

S = Tegangan ijin material pipa pada suhu operasi didapat dari ASME B31.3

$$= 17,7 \text{ ksi} \times \frac{4448,22 \text{ N}}{1 \text{ lb}} \times \frac{1 \text{ in}^2}{(25,4 \text{ mm})^2}$$

$$= 122,03 \text{ N/mm}^2$$

Ditanyakan :  $M_{max}$  ?

$$M_{Max} = 122,03 \times \frac{\pi}{32 \times 914} (914^4 - 895^4)$$

$$M_{Max} = 737280932,1 \text{ N.mm}$$

$$M_{Max} = 737280,9321 \text{ N.m}$$

2. Menghitung W bisa menggunakan dengan massa jenis dikalikan dengan luas penampang. W total merupakan kombinasi berat pipa, fluida, dan insulasi.

a. W pipa adalah :

Massa jenis pipa ( $\rho$ ) = 7833,43 kg/m<sup>3</sup>

$$A_{pipa} = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2)$$

$$A_{pipa} = \frac{\pi}{4} (914^2 - 895^2)$$

$$A_{pipa} = 26994,92 \text{ mm}^2 = 0,02699 \text{ m}^2$$

Sehingga :

$$W_{pipa} = \rho_{pipa} \times A_{pipa}$$

$$W_{pipa} = 7833,43 \times 0,02699$$

$$W_{pipa} = 211,46 \text{ kg/m}$$

b. W fluida adalah :

Massa jenis fluida = 3,23 kg/m<sup>3</sup>

$$A_{fluida} = \frac{\pi}{4} (D_i^2)$$

$$A_{fluida} = \frac{\pi}{4} (895^2)$$

$$A_{fluida} = 629123,6 \text{ mm}^2 = 0,6291 \text{ m}^2$$

Sehingga :

$$W_{fluida} = \rho_{fluida} \times A_{fluida}$$

$$W_{fluida} = 3,23 \times 0,6291$$

$$W_{fluida} = 2,032 \text{ kg/m}$$

c. W insulasi adalah :

$$\text{Massa jenis insulasi} = 136,15 \text{ kg/m}^3$$

$$D_o \text{ insulasi} = D_o \text{ pipa} + (50 \times 2) = 914 + 100 = 1014 \text{ mm}$$

$$D_i \text{ insulasi} = D_o \text{ pipa} = 914$$

$$A_{insulasi} = \frac{\pi}{4}(D_o^2 - D_i^2)$$

$$A_{insulasi} = \frac{\pi}{4}(1014^2 - 914^2)$$

$$A_{insulasi} = 151424,8 \text{ mm}^2 = 0,1514 \text{ m}^2$$

Sehingga :

$$W_{insulasi} = \rho_{insulasi} \times A_{insulasi}$$

$$W_{insulasi} = 136,15 \times 0,1514$$

$$W_{insulasi} = 20,61 \text{ kg/m}$$

Setelah mengetahui ketiga nilai W di atas, kita dapat mengetahui nilai W total, yaitu :

$$W_{total} = W_{pipa} + W_{fluida} + W_{insulasi}$$

$$W_{total} = 211,46 + 2,032 + 20,61$$

$$W_{total} = 234,11 \text{ kg/m}$$

$$W_{total} = 234,11 \times 9,81$$

$$W_{total} = 2296,63 \text{ N/m}$$

3. Setelah mengetahui w, defleksi dapat diketahui.

Diketahui :

$$\text{Modulus elastisitas baja (E)} = 200 \text{ Gpa} = 200 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$W_{total} = 2296,63 \text{ N/m}$$

Ditanyakan : I, dan  $y_{max}$

$$\text{Momen inersia penampang pipa (I)} = \frac{\pi}{64}(D_o^4 - D_i^4)$$

$$I = \frac{\pi}{64}(914^4 - 895^4)$$

$$I = 2760940902 \text{ mm}^4 = 0,00276 \text{ m}^4$$

a. defleksi maksimum untuk tumpuan sederhana yaitu :

$$y_{Max} = \frac{-5 W L^4}{384 E I}$$

$$y_{Max} = \frac{-5 \times 2296,63 \times L^4}{384 \times 200 \times 10^9 \times 0,00276}$$

$$y_{Max} = -5,417 \times 10^{-8} \times L^4 \text{ m}$$

b. defleksi maksimum untuk tumpuan jepit yaitu :

$$y_{Max} = \frac{-W L^4}{384 E I}$$

$$y_{Max} = \frac{-2296,63 \times L^4}{384 \times 200 \times 10^9 \times 0,00276}$$

$$y_{Max} = -1,083 \times 10^{-8} \times L^4 \text{ m}$$

Nilai L didapatkan dari panjang span di mana terjadinya defleksi maksimum tersebut. Selain nilai defleksi diatas, Tabel berikut merupakan perhitungan nilai defleksi maksimum untuk pipa dengan diameter berbeda.

**Tabel 3.** Nilai defleksi untuk tumpuan sederhana dan jepit pada NPS pipa yang berbeda

	NPS Pipa	
	24"	16"
Do (mm)	610	406
Di (mm)	591	387
I (mm <sup>4</sup> )	808036923,8	232681742,5
Z (mm <sup>3</sup> )	2649301,389	1146215,48
S ijin (N/mm <sup>2</sup> )	137,89	137,89
M max (N.m)	365325,66	158057,49
W total (N/m)	1524,39	1008,75
y max sederhana (m)	-1,228 X 10 <sup>-7</sup> X L <sup>4</sup>	-2,822 X 10 <sup>-7</sup> X L <sup>4</sup>
y max jepit (m)	-2,45 X 10 <sup>-8</sup> X L <sup>4</sup>	-5,645 X 10 <sup>-8</sup> X L <sup>4</sup>

**Tabel 4.** Nilai defleksi maksimum pada sistem perpipaan

Loadcase	DX		DY				DZ	
	Besar (mm)	Node	Besar (mm)	Node	L (mm)	Defleksi Ijin (mm)	Besar (mm)	Node
L1 = WW+HP (SUS)	20,13	710	-78,19	730	14620	-1,12	13,29	730
L2 = W+T1+P1 (OPE)	11,63	710	-32,31	730	14620	-1,12	10,27	729
L3 = W+P1 (SUS)	7,52	710	-29,17	730	14620	-1,12	4,95	730
L4 = U1 (OCC)	12,89	729	-3,07	730	14620	-1,12	2,04	748
L5 = U2 (OCC)	0,63	768	6,01	730	14620	-1,12	-0,83	730
L6 = U3 (OCC)	3,01	720	-1,59	719	14620	-1,12	4,11	710
L7 = WIN 1 (OCC)	5,2	1069	0,305	1060	5700	-0,059	1,005	1060
L8 = WIN 2 (OCC)	-0,17	1069	0,059	730	14620	-1,12	0,73	980
L9 = WNC (SUS)	7,47	710	-29,01	730	14620	-1,12	4,92	730
L10 = L2-L3 (EXP)	7,82	960	11,23	1069	5700	-0,059	-8,99	879
L11 = L4+L5+L6 (OCC)	15,53	728	3,35	718	14620	-1,12	4,36	730
L12 = L7+L8 (OCC)	5,02	1069	0,28	1060	5700	-0,059	0,68	1068
L13 = L3+L12 (OCC)	7,52	710	-29,11	730	14620	-1,12	4,98	730
L14 = L3+L11 (OCC)	21,68	729	-27,44	730	14620	-1,12	9,32	730

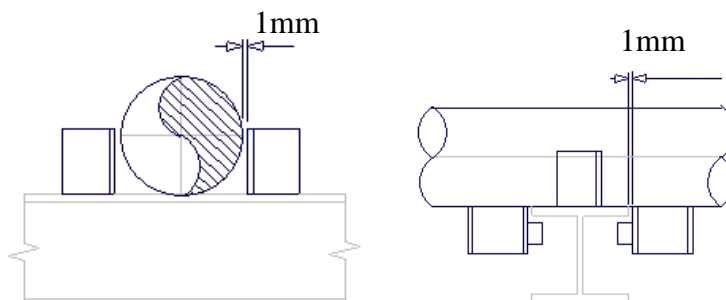
Hasil perhitungan defleksi yang terjadi pada sistem perpipaan dengan menggunakan CAESAR II menunjukkan bahwa defleksi maksimum terbesar terjadi pada *loadcase* 1 sebesar -78,19 mm. Selain itu, seluruh defleksi maksimum di setiap *loadcase* melebihi defleksi ijin sehingga diperlukan modifikasi pada sistem perpipaan untuk mencegah hal yang tidak diinginkan.

### 3.3 Redesain pada Sistem Perpipaan

Untuk mengurangi nilai tegangan dan defleksi maksimum, berikut merupakan modifikasi yang dilakukan pada sistem perpipaan :

#### 1. Penambahan gap 2 mm

Penambahan gap sebesar 2 mm pada sumbu X dan Z ini dilakukan pada arah sumbu X di *directional anchor* di nodal 70 dan 120. *Support* yang digunakan yaitu tipe *anchor* yang dimodifikasi dengan ditambahkan U-bolt.

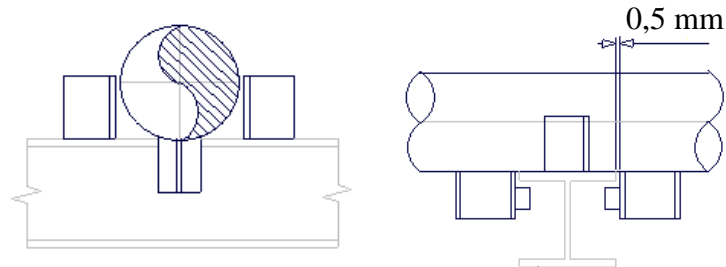


**Gambar 2.** Modifikasi *support* yang dilakukan



2. Penambahan gap 1 mm

Penambahan gap sebesar 1 mm pada sumbu X ini dilakukan pada *directional anchor* di nodal 180. *Support* yang digunakan pada nodal ini yaitu tipe *anchor*.



**Gambar 3.** Modifikasi *support* yang dilakukan

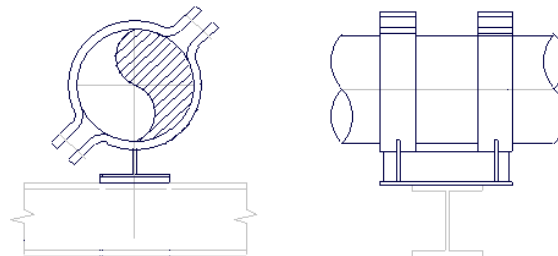
3. Penambahan *double acting restraint* pada sumbu horizontal

Penambahan *support* baru dengan jenis ini dilakukan pada 2 kombinasi sumbu horizontal yang berbeda.

**Tabel 5.** Modifikasi pada 2 sumbu yang berbeda

	Nodal
Sumbu Z dan Y	235, 425, dan 765
Sumbu X dan Z	195, 715, 745, 900, 1065, dan 1067

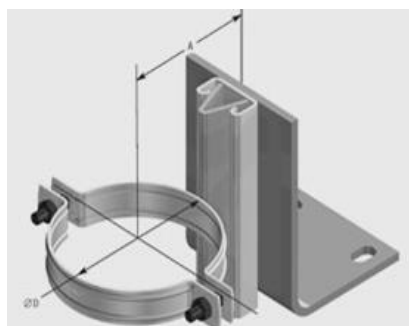
*Support* yang ditambahkan pada redesain ini seluruhnya menggunakan *clamp on shoe*.



**Gambar 4.** Penambahan *support* baru

4. Penambahan *double acting restraint* pada sumbu vertikal

*Support* ini ditambahkan di nodal yang sudah ada sebelumnya yaitu di nodal 880. *Support* yang ditambahkan pada redesain ini seluruhnya menggunakan *clamp on shoe* yang diletakan secara vertikal.



**Gambar 6.** Penambahan *support* pada arah vertikal

### 3.3.1 Analisa Tegangan Setelah Redesain

Setelah dilakukan redesain, berikut merupakan nilai tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan :

**Tabel 6.** Nilai tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan setelah dilakukan redesain

Loadcase	Code Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Allowable Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Node	Ratio (%)
L1 = WW+HP (SUS)	36,6	124,9	60	29,3
L2 = W+T1+P1 (OPE)	304,5		1080	
L3 = W+P1 (SUS)	13,6	124,9	189	10,9
L4 = U1 (OCC)	6,5	166,2	190	3,9
L5 = U2 (OCC)	8,9	183,4	20	4,8
L6 = U3 (OCC)	10,8	183,4	130	5,9
L7 = WIN 1 (OCC)	1	166,2	38	2,4
L8 = WIN 2 (OCC)	11,1	183,4	130	6,1
L9 = WNC (SUS)	12,6	137,9	970	9,1
L10 = L2-L3 (EXP)	295,4	329,3	1080	89,7
L11 = L4+L5+L6 (OCC)	14,4	183,4	188	7,9
L12 = L7+L8 (OCC)	9,6	183,4	130	5,2
L13 = L3+L12 (OCC)	15,1	183,4	199	8,2
L14 = L3+L11 (OCC)	16,5	166,2	188	9,9

Setelah dilakukan modifikasi pada sistem perpipaan 2 *loadcase* yang rasio tegangannya mencapai 99% telah menurun hingga 29,3% dan 89,7%. Selain itu, *loadcase-loadcase* lainnya juga mengalami penurunan rasio tegangan. Hal ini membuktikan bahwa modifikasi yang dilakukan telah berhasil sehingga sistem perpipaan tersebut dinyatakan aman.

### 3.3.1 Analisa Defleksi Setelah Redesain

Setelah dilakukan redesain, berikut merupakan nilai defleksi yang terjadi pada sistem perpipaan :

**Tabel 7.** Nilai defleksi pada sistem perpipaan setelah dilakukan redesain

Loadcase	DX		DY				DZ	
	Besar (mm)	Node	Besar (mm)	Node	L (mm)	Defleksi Ijin (mm)	Besar (mm)	Node
L1 = WW+HP (SUS)	-1,43	49	-3,73	980	12000	-5,85	-1,07	59
L2 = W+T1+P1 (OPE)	7,908	960	7,95	1070			13,97	1070
L3 = W+P1 (SUS)	-0,44	719	-2,02	980	12000	-5,85	-0,27	710
L4 = U1 (OCC)	1,99	248	0,25	960	8400	-1,41	0,19	60
L5 = U2 (OCC)	-0,18	478	0,53	708			0,16	710
L6 = U3 (OCC)	0,38	730	0,31	730	8400	-1,41	1,93	80
L7 = WIN 1 (OCC)	0,801	48	0,2	58			-0,04	60
L8 = WIN 2 (OCC)	-0,2	205	-0,38	960	8400	-1,41	1,93	80
L9 = WNC (SUS)	-0,43	719	-2,01	980	12000	-5,85	-0,27	710
L10 = L2-L3 (EXP)	7,906	960	8,04	1070			13,96	1070
L11 = L4+L5+L6 (OCC)	1,94	249	0,61	708			1,87	80
L12 = L7+L8 (OCC)	0,76	49	0,409	48			1,92	80
L13 = L3+L12 (OCC)	-0,42	48	-1,97	980	12000	-5,85	1,83	80
L14 = L3+L11 (OCC)	1,69	438	-1,62	980	12000	-5,85	1,78	80

Tabel 3.6 menunjukkan nilai defleksi maksimum arah vertikal (Y) pada pipa horizontal tidak ada yang melebihi defleksi ijin. Sel kosong menunjukkan bahwa defleksi maksimum tidak terjadi pada pipa horizontal sehingga tidak dapat dibandingkan dengan nilai defleksi ijin. Selain itu, seluruh nilai defleksi maksimum untuk arah sumbu X, Y, dan Z mengalami penurunan sehingga sistem perpipaan dapat dikategorikan aman.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari analisis tegangan pipa dan defleksi sistem perpipaan adalah sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan tegangan model awal sistem perpipaan dengan menggunakan CAESAR II 2016 menunjukkan bahwa pada jalur pipa penghubung RE-101 di VCM plant PT Asahimas Chemical terdapat 2 loadcase yang rasio tegangannya mencapai 99 % pada loadcase 1 dan 98,7 % pada loadcase 10.
2. Seluruh nilai defleksi maksimum arah vertikal (Y) pada pipa horizontal melebihi nilai defleksi ijin. Nilai defleksi ijin maksimum terbesar pada loadcase 1 sebesar 78,91 mm sehingga perlu dilakukan redesain pada sistem perpipaan untuk mengurangi rasio tegangan maupun defleksi yang terjadi.
3. Redesain pada sistem perpipaan berupa penambahan support baru pada nodal tertentu dan atau memodifikasi support yang sudah ada. Modifikasi yang dilakukan yaitu :
  - a. Penambahan gap 2 mm pada sumbu X dan Z pada support 70 dan 120.

- b. Penambahan gap 1 mm pada sumbu X di support dengan nodal 180. *Support* yang digunakan pada nodal ini yaitu tipe *anchor*.
- c. Penambahan double acting restraint pada sumbu X dan Y pada nodal 195, 715, 745, 900, 1065, dan 1067. *Support* yang ditambahkan pada redesain ini seluruhnya menggunakan *clamp on shoe*.
- d. Penambahan double acting restraint pada sumbu Z dan Y pada nodal 235, 425, dan 765. *Support* yang ditambahkan pada redesain ini seluruhnya menggunakan *clamp on shoe*
- e. Penambahan double acting restraint pada sumbu X dan Z pada nodal 880. *Support* yang ditambahkan pada redesain ini seluruhnya menggunakan *clamp on shoe* yang diletakan secara vertikal

Setelah dilakukan redesain pada sistem perpipaan didapatkan hasil bahwa kedua *loadcase* tersebut telah mengalami penurunan rasio tegangan hingga 29,3 % dan 89,7 %. Nilai defleksi arah vertikal maksimum yang terjadi juga mengalami penurunan hingga tidak ada yang nilainya melebihi nilai defleksi ijin. Dapat dinyatakan bahwa sistem perpipaan ini sudah baik dan aman

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anugerah, P.P. dan Budi A.K. 2014. Analisa Rancangan Pipe Support pada Sistem Perpipaan High Pressure Vent Berdasarkan Stress Analisis dengan Pendekatan CAESAR II. Jurnal Teknik POMITS Vol. 3, No. 2.
- API. 2004. *API 5L Specification for Line Pipe*. Errata
- Banhar, A.S. dan Budi A.K. 2013. Analisa Rancangan Pipe Support pada Sistem Perpipaan dari Pompa Menuju Pressure Vessel dan Heat Exchanger dengan Pendekatan Software CAESAR II. Jurnal Teknik POMITS. Vol. 2, No. 1.
- Djoeli S., Wahyu, F.U., dan Toni P. 2016. Desain dan Analisis Tegangan Pipa pada Sistem Offshore Akibat dari Beban Arus dan Gelombang Laut Di PT. Pertamina (Persero) Unit Pengolahan VI Balongan Menggunakan Elemen Hingga. JTM Vol. 4, No. 3.
- Erinofiardi, Ahmad F. S., dan Arno A. 2014. Desain Tegangan Pada Jalur Pemipaan Gas Dengan Pendekatan Perangkat Lunak. Jurnal Teknosia. Vol. 1, No. 14.
- Hadji, T.A.S. 2015. "Modul Analisis Tegangan Pipa". Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Hafid, H.F. dan Djoeli S. 2014. Perancangan dan Analisa Sistem Perpipaan Process Plant dengan Metode Elemen Hingga. JTM Vol. 2, No. 4.
- Hariandja, B. 1996. *Mekanika Teknik : Statika Dalam Analisis Struktur Berbentuk Rangka*. Jakarta: Erlangga.
- Husen, A., Nur, C., dan Akbar N.S. 2018 Analisis Tegangan Pipa pada Sistem Instalasi Perpipaan Geothermal di Proyek X. Bina Teknika Vol. 14, No. 1.
- Manurung, P. dan Syam B. 2013. Analisa Tegangan Pipa Pada Sistem Perpipaan *Heavy Fuel Oil* Dari *Daily Tank* Unit 1 Dan Unit 2 Menuju *Heat Exchanger* di Pltu Belawan. Jurnal e-Dinamis. Vol. 5, No. 1.
- Maulana, A. 2016. Perhitungan Tegangan Pipa dari Discharge Kompresor Menuju Air Cooler Menggunakan Software CAESAR II 5.10 pada Proyek Gas Lift Compressor Station. JTM Vol. 05, No.2
- Popov, E.P. 1989. *Mekanika Teknik*. Erlangga: Jakarta.
- Raswari. 1986. *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan*. UI-Press

- Santoso, B. dan Petrus Z. 2011. Analisis Tegangan Pipa Non Metalik Dalam Sistem Pemipaan. PRPN-BATAN
- Setjo, R. 2000. Analisis Tegangan Pipa. P2TKN-BATAN.
- Sherwood, D.R. 1973. *The Piping Guide for Design and Drafting of Industrial Piping System*. Syentek.Inc: USA.
- Smith, P.R. dkk. 1987. *Piping and Pipe Support Systems*. McGraw-Hill.
- The American Society of Mechanical Engineering. 1999. ASME B31.3 *Process Piping*-1999 Edition. ASME Press: New York.
- Tjahjono, H. 1998. Analisis Tegangan Sistem Perpipaan Sekunder AP600. PRPN-BATAN.