

BAB VI

HASIL DAN PEMBAHASAN

6.1 Pembuatan Model Sistem Perpipaan

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

6.1.1 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*. Pengecekan ini bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya kesalahan pemodelan khususnya dalam geometri yang tidak sesuai, dll seperti pada Gambar di bawah ini.

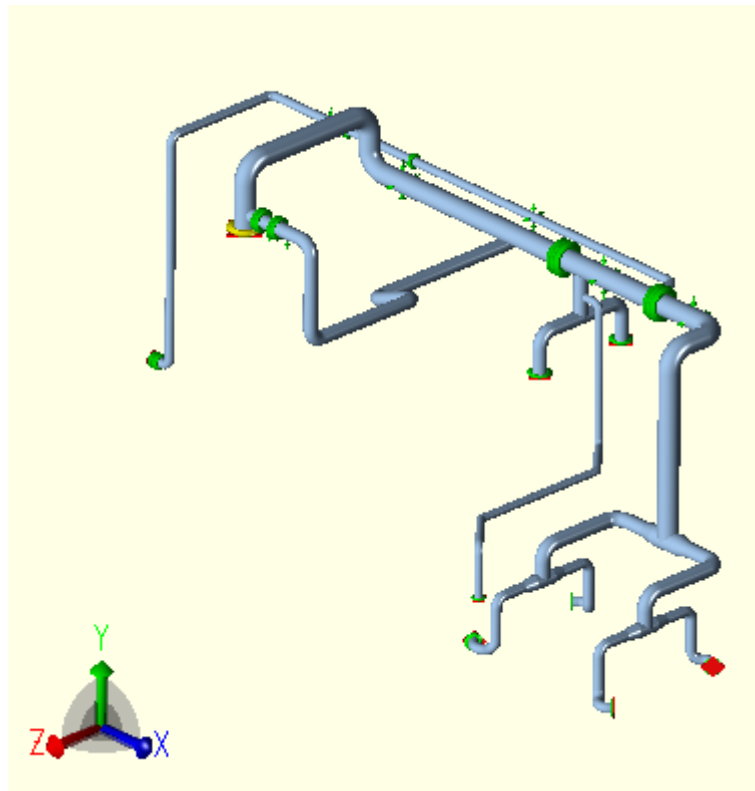
Errors 0		Warnings 41		Notes 2																												
	Message Type	Message Number	Element/Node Number	Message Text																												
17	WARNING	172E	530-540	On element 530 TO 540 the reducer alpha value was not specified. CAESAR II will use a default value of: 15.514.																												
18	WARNING	172E	460-470	On element 460 TO 470 the reducer alpha value was not specified. CAESAR II will use a default value of: 15.514.																												
19	WARNING	172E	220-230	On element 220 TO 230 the reducer alpha value was not specified. CAESAR II will use a default value of: 19.136.																												
20	WARNING	172E	340-350	On element 340 TO 350 the reducer alpha value was not specified. CAESAR II will use a default value of: 15.514.																												
21	WARNING	172E		The [WARNING 172E] count exceeded the specified displ limit of [5].																												
22	NOTE			<p style="text-align: center;">CENTER OF GRAVITY REPORT</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;"></th> <th style="text-align: right;">Total Wght</th> <th style="text-align: right;">X cg</th> </tr> <tr> <th style="text-align: left;">N.</th> <th></th> <th style="text-align: right;">mm.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pipe</td> <td style="text-align: right;">4311362.0</td> <td style="text-align: right;">12819.4</td> </tr> <tr> <td>Insulation</td> <td style="text-align: right;">25392.7</td> <td style="text-align: right;">9011.0</td> </tr> <tr> <td>Refractory</td> <td style="text-align: right;">0.0</td> <td style="text-align: right;">0.0</td> </tr> <tr> <td>Fluid</td> <td style="text-align: right;">1806.5</td> <td style="text-align: right;">9750.1</td> </tr> <tr> <td>Pipe+Ins+Rfrty</td> <td style="text-align: right;">4336757.5</td> <td style="text-align: right;">12797.1</td> </tr> <tr> <td>Pipe+Fluid</td> <td style="text-align: right;">4313168.5</td> <td style="text-align: right;">12818.1</td> </tr> <tr> <td>Pipe+Ins+Rfrty+Fld:</td> <td style="text-align: right;">4338562.0</td> <td style="text-align: right;">12795.8</td> </tr> </tbody> </table>			Total Wght	X cg	N.		mm.	Pipe	4311362.0	12819.4	Insulation	25392.7	9011.0	Refractory	0.0	0.0	Fluid	1806.5	9750.1	Pipe+Ins+Rfrty	4336757.5	12797.1	Pipe+Fluid	4313168.5	12818.1	Pipe+Ins+Rfrty+Fld:	4338562.0	12795.8
	Total Wght	X cg																														
N.		mm.																														
Pipe	4311362.0	12819.4																														
Insulation	25392.7	9011.0																														
Refractory	0.0	0.0																														
Fluid	1806.5	9750.1																														
Pipe+Ins+Rfrty	4336757.5	12797.1																														
Pipe+Fluid	4313168.5	12818.1																														
Pipe+Ins+Rfrty+Fld:	4338562.0	12795.8																														

Gambar 6.1 *Error checking*

Gambar di atas menunjukkan bahwa setelah dilakukan *error checking* dengan menggunakan ikon *start run*, tidak terdapat kesalahan/ eror pada pemodelan jalur pipa penghubung RE-101 *VCM plant* PT Asahimas Chemical. Sehingga bisa dilanjutkan ke tahap selanjutnya.

6.1.2 Visualisasi Pemodelan

Setelah sudah dipastikan tidak ada kesalahan pada model, berikut ini merupakan visualisasi pemodelan jalur pipa penghubung *equipment* RE-101 ke *equipment* lainnya di *VCM plant* PT Asahimas Chemical seperti pada Gambar di bawah ini.



Gambar 6.2 Visualisasi pemodelan

6.2 Hasil Perhitungan

Software CAESAR II 2016 akan melakukan kalkulasi tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan tersebut sesuai dengan pembebanan yang sudah ditentukan sebelumnya.

6.2.1 Analisis Tegangan

Analisis ini dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan maksimum terhadap nilai tegangan ijinnya. Hasil perhitungan ini dapat dilihat di menu *stress summary* pada *static output processor* setelah dilakukan *run batch* pada *software CAESAR II 2016*.

Tabel 6.1 Nilai tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan

Loadcase	Code Stress (N/mm ²)	Allowable Stress (N/mm ²)	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 case of hydrotest* dengan rasio mencapai 99% terletak pada nodal 770 dan *loadcase expansion at design condition* dengan rasio 98,8 % terletak pada nodal 130.

Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa jalur pipa penghubung RE-101 ke *equipment* lain di *VCM plant* PT Asahimas Chemical tidak mengalami *fail* atau kegagalan. Meskipun begitu, tetap diperlukan modifikasi karena ada beberapa *loadcase* yang rasionya hampir mencapai 100% agar sistem perpipaan tersebut dapat dikategorikan aman.

6.2.2 Defleksi

Analisis defleksi ini dilakukan dengan membandingkan nilai defleksi maksimum arah vertikal (Y) pada pipa horizontal terhadap nilai defleksi ijin. Untuk mengetahui nilai defleksi ijin perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan teori tegangan dan defleksi dikarenakan beban berat.

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}) didapat dari rumus 3.31 yaitu :

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

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 :

$$\text{Massa jenis pipa } (\rho) = 7833,43 \text{ kg/m}^3$$

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

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

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

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 :

$$\text{Massa jenis fluida} = 3,23 \text{ kg/m}^3$$

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

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

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

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 yaitu dengan rumus 3.33 dan 3.34.

Diketahui :

Modulus elastisitas baja (E) = 200 Gpa = 200×10^9 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 6.2 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 ⁴)	808036923,8	232681742,5
Z (mm ³)	2649301,389	1146215,48
S ijin (N/mm ²)	137,89	137,89
M max (N.m)	365325,66	158057,49
W total (N/m)	1524,39	1008,75
y max sederhana (m)	$-1,228 \times 10^{-7} \times L^4$	$-2,822 \times 10^{-7} \times L^4$
y max jepit (m)	$-2,45 \times 10^{-8} \times L^4$	$-5,645 \times 10^{-8} \times L^4$

Tabel 6.3 Nilai defleksi maksimum yang terjadi 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

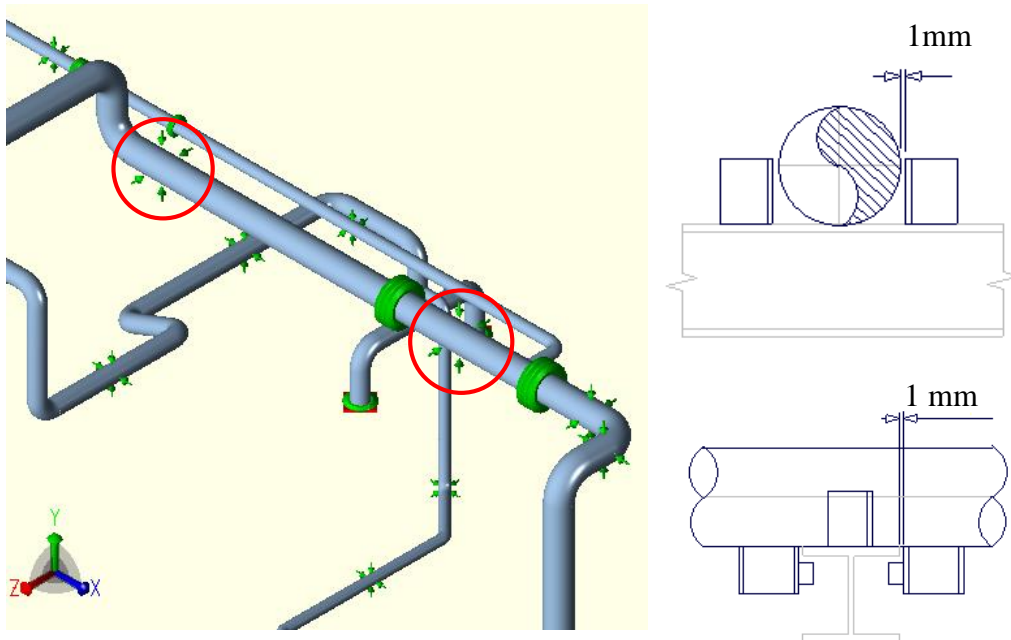
Hasil perhitungan defleksi yang terjadi pada sistem perpipaan dengan menggunakan *CAESAR II* menunjukkan bahwa defleksi maksimum terbesar terjadi pada *loadcase* 1 sebesar -78,19 mm. Selain itu, seluruh defleksi maksimum di setiap *loadcase* melebihi defleksi ijin sehingga diperlukan modifikasi pada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

6.3 Modifikasi Pada Sistem Perpipaan

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

1. Penambahan gap 2 mm

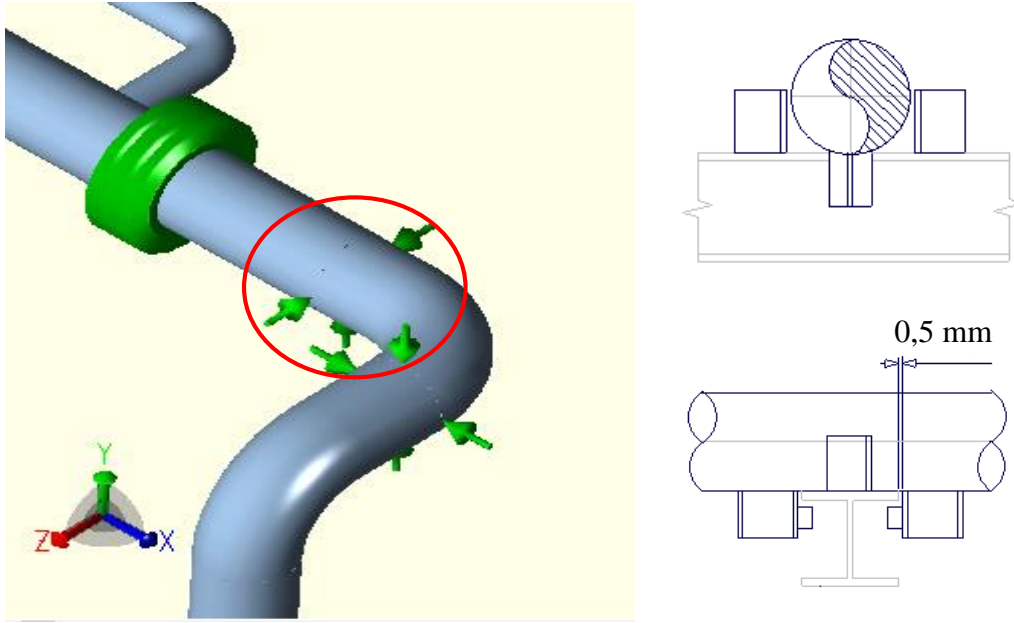
Penambahan gap sebesar 2 mm pada sumbu X dan Z ini dilakukan pada arah sumbu X di *directional anchor* di nodal 70 dan 120. Penambahan ini dimaksudkan untuk mengurangi tegangan yang disebabkan beban ekspansi dan beban dinamik pada pipa yang ditumpu *support-support* tersebut. *Support* yang digunakan yaitu tipe *anchor* yang dimodifikasi dengan ditambahkan *U-bolt*.



Gambar 6.3 Penambahan gap pada *support* 70 dan 120

2. Penambahan gap 1 mm pada sumbu X

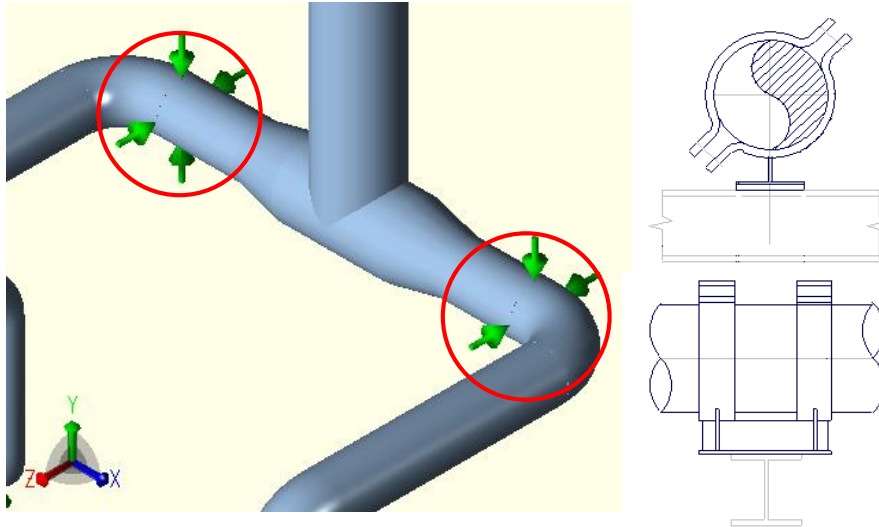
Penambahan gap sebesar 1 mm pada sumbu X ini dilakukan pada *directional anchor* di nodal 180. Penambahan ini dimaksudkan untuk mengurangi tegangan yang disebabkan beban ekspansi pada pipa dan mengurangi beban *sustain* pada elbow 210. *Support* yang digunakan pada nodal ini yaitu tipe *anchor*.



Gambar 6.4 Penambahan *gap* pada *support* 180

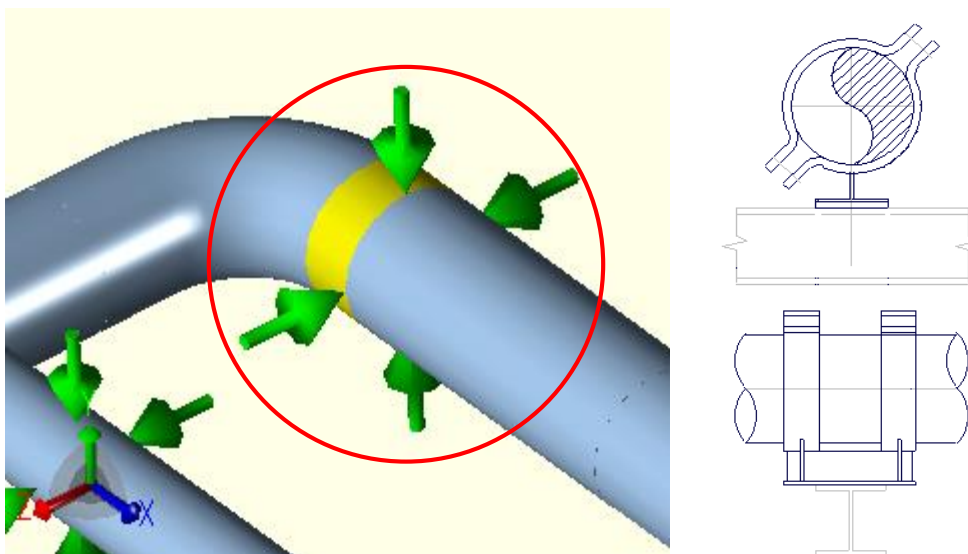
3. Penambahan *double acting restraint* pada sumbu Z dan Y pada nodal 235, 425, dan 765.

Penambahan *support* ini bertujuan untuk mengurangi defleksi yang terjadi pada arah sumbu Z dan Y beserta beban *sustained* pada *spool pipe* yang ditumpu *support* tersebut. *Support* yang ditambahkan pada redesain ini seluruhnya menggunakan *clamp on shoe*.



Gambar 6.5 Penambahan *support* baru pada nodal 235 dan 425

Support ini ditambahkan dengan menyisipkan nodal baru yaitu nodal 235 dan 425 yang masing terletak 1000 mm dari nodal 230 dan 420.

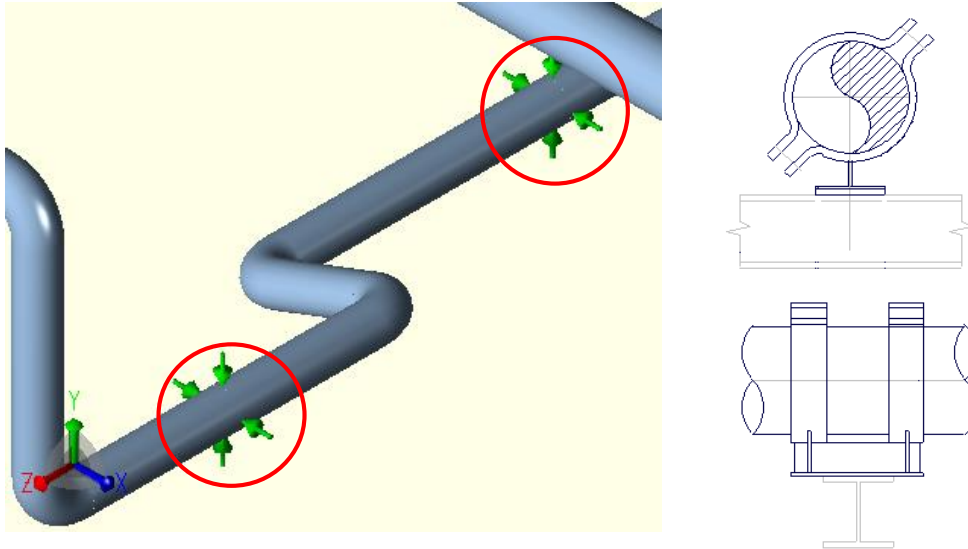


Gambar 6.6 Penambahan *support* baru pada nodal 765

Support ini ditambahkan dengan menyisipkan nodal baru yaitu 765 yang terletak 1000 mm dari nodal 760.

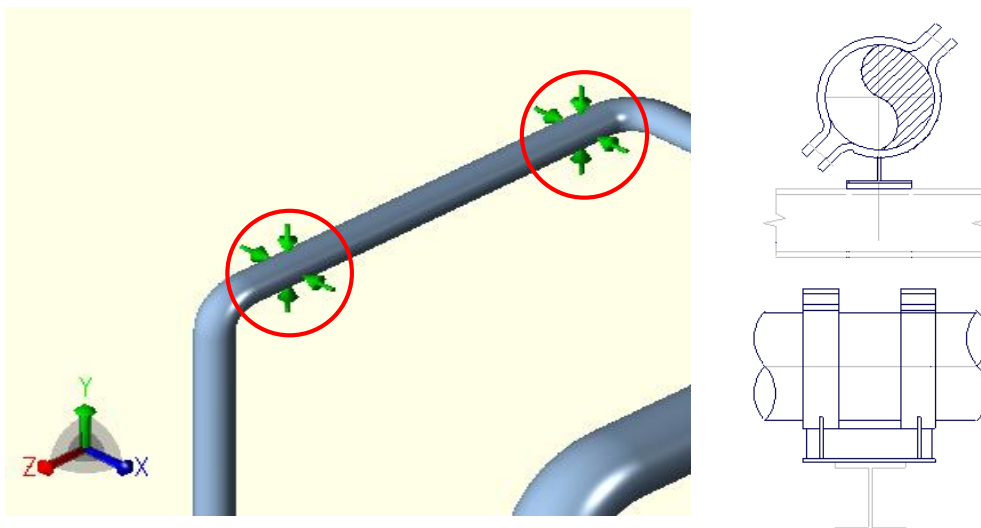
4. Penambahan *double acting restraint* pada arah X dan Y pada nodal 195, 715, 745, 900, 1065, dan 1067

Penambahan *support* ini bertujuan untuk mengurangi defleksi pada arah X dan Y pada *spool pipe* yang ditumpu *support-support* tersebut. *Support* yang ditambahkan pada redesain ini seluruhnya menggunakan *clamp on shoe*.



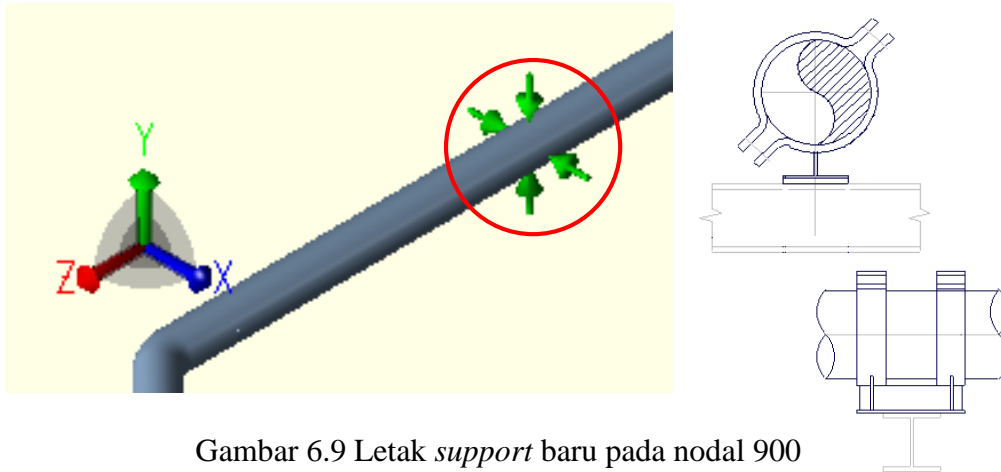
Gambar 6.7 Penambahan support pada nodal 715 dan 745

Support ini ditambahkan dengan menyisipkan nodal baru yaitu nodal 715 dan 745 yang masing-masing terletak 3000 dan 4000 mm dari nodal 710 dan nodal 740.



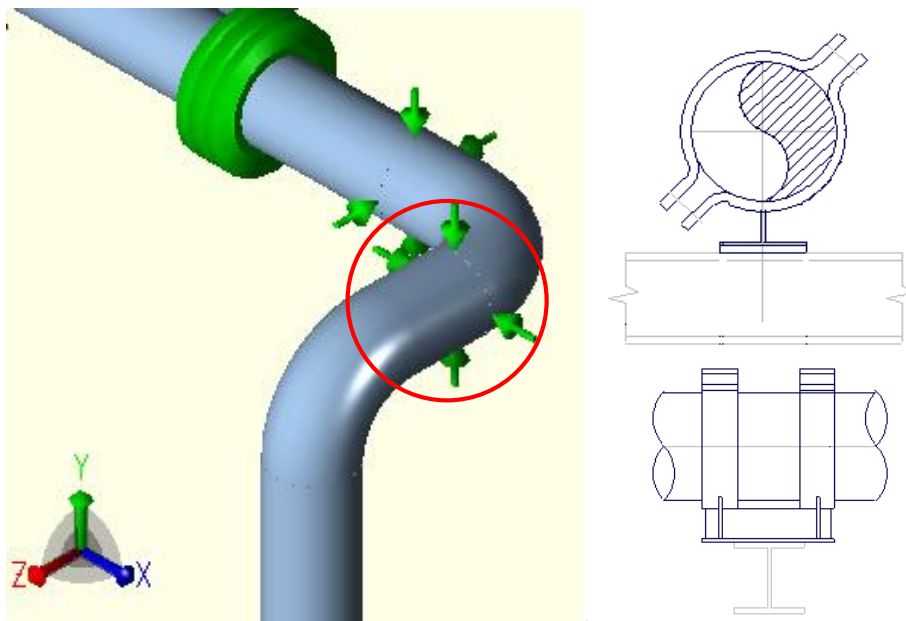
Gambar 6.8 Letak *support* baru pada nodal 1065 dan 1067

Support ini ditambahkan dengan menyisipkan nodal baru yaitu nodal 1065 dan 1067 yang masing-masing terletak 700 dan 1000 mm dari nodal 1065 dan nodal 1070.



Gambar 6.9 Letak *support* baru pada nodal 900

Penambahan *support* baru ini terletak pada nodal 900 yang terletak 2970 mm dari nodal 890.

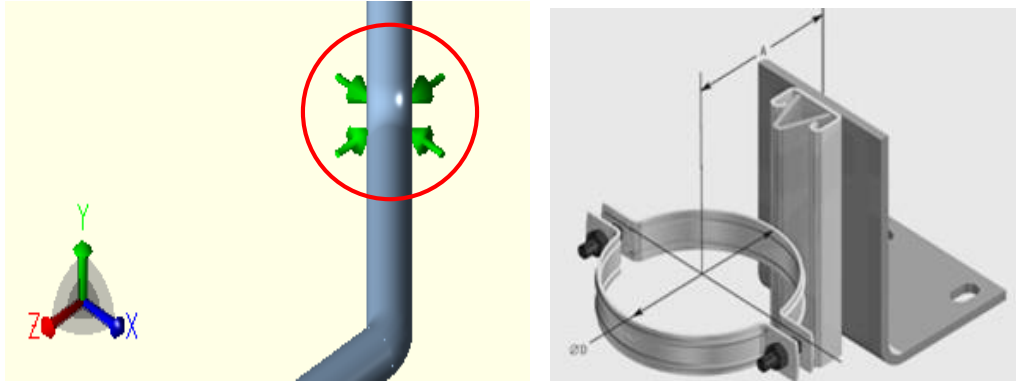


Gambar 6.10 Letak *support* baru pada nodal 195

Support ini ditambahkan dengan menyisipkan nodal baru yaitu nodal 195 yang terletak 1000 mm dari nodal 190.

5. Penambahan *double acting restraint* pada arah X dan Z pada nodal 880.

Penambahan *support* ini bertujuan untuk mengurangi defleksi pada arah X dan Z pada *spool pipe* di nodal 860-870.



Gambar 6.11 Letak *support* baru di nodal 880

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.

6.3.1 Analisis Tegangan

Berikut merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada jalur pipa penghubung RE-101 ke *equipment* lain setelah dilakukan modifikasi.

Tabel 6.4 Nilai tegangan setelah dilakukan modifikasi pada sistem perpipaan

Loadcase	Code Stress (N/mm ²)	Allowable Stress (N/mm ²)	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 98% 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.

6.3. Defleksi

. Analisis defleksi pada sistem perpipaan sesudah sama seperti sebelum dilakukannya redesain, yaitu membandingkan nilai defleksi maksimum arah vertikal (Y) pada pipa horizontal terhadap defleksi ijin. Perhitungan defleksi ijin dapat dilihat pada Halaman 88 atau pada Tabel 6.2.

Tabel 6. 5 Nilai defleksi maksimum setelah dilakukan modifikasi

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 6.5 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.