



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Tegangan Sistem Perpipaan *Filling Shed* Pada Terminal LPG Opsico-Pertamina Semarang Berdasarkan Jarak Support Akibat Beban Lingkungan Dengan Metode Elemen Hingga

Bakhtiar Muhammad¹⁾, Hartono Yudo¹⁾, Berlian Arswendo A.¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : bakhtiarafli@gmail.com

Abstrak

Perancangan sistem perpipaan yang baik dan aman sangat dibutuhkan untuk menjamin kelangsungan dari proses serta menjamin keamanan. *Support* pada pipa berfungsi untuk menumpu pipa tersebut dari permukaan tanah yang tidak rata, sehingga dapat membuat posisi pipa tetap stabil dan tidak naik-turun karena perbedaan ketinggian akibat adanya penurunan permukaan tanah. Penelitian ini menganalisa tegangan pipa akibat besarnya jarak antar *support* serta akibat pembebanan oleh Berat Pipa dan Berat Fluida, Tekanan kerja pada pipa, dan Temperatur kerja pada pipa sehingga didapatkan nilai tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan tersebut dengan bantuan program *Finite Element Method (FEM)*. Dalam proses analisa menggunakan *software Intergraph CAESAR II*, kami mendapatkan hasil tegangan dari kondisi *Sustained Load* (Berat pipa dan Berat Fluida + Tekanan kerja pada pipa) bahwa tidak ada segmen *node* yang melebihi batasan *allowable stress* yang diijinkan yaitu sebesar 137892 kPa. Tegangan terbesar terdapat pada bagian elbow pipa yaitu *node* 2118, 3075, 3078, 4078, 5078, 6078, 7078 sebesar 115308.4 kPa. Sedangkan pada kondisi *Expansion Load* (Temperatur kerja pada pipa) tidak ada segmen *node* yang melebihi batasan *allowable stress* yang diijinkan yaitu sebesar 327729 kPa. Tegangan terbesar terdapat pada bagian elbow pipa yaitu *node* 2118, 3075, 3078, 4078, 5078, 6078, 7078 sebesar 22701.6 kPa. Untuk proses analisa menggunakan *software Msc. Nastran Patran*, kami mendapatkan total hasil tegangan pada pipa yang memiliki jarak *support* terbesar yaitu 6050 mm pada *node* 140-150, sebesar 6620 kPa. Sedangkan pada *software Intergraph CAESAR II* pada *node* 140-150 memiliki tegangan sebesar 6641.7 kPa untuk kondisi *Sustained Load*.

Kata kunci: Tegangan, *Sustained Load*, *Expansion Load*

1. PENDAHULUAN

Gas alam terutama LPG sekarang ini telah menjadi sumber energi alternatif yang banyak digunakan oleh masyarakat dunia untuk berbagai keperluan. Program konversi minyak tanah ke LPG oleh pemerintah juga semakin menjadikan LPG sebagai produk penting yang harus tersedia di pasaran. Agar dapat memenuhi kebutuhan tersebut, diperlukan faktor-faktor pendukung yang mampu bekerja optimal dan konsisten, sehingga pasokan LPG dapat tersalurkan dengan baik. Salah satunya adalah sistem perpipaan pada Terminal LPG OPSICO-Pertamina Semarang.

Sistem perpipaan dirancang agar dapat menahan berbagai macam bentuk pembebanan baik karena desain dan berat pipa (*Sustained*

Load) serta karena Temperatur (*Thermal Load*) [1]. Untuk itu diperlukan adanya pengetahuan lebih mengenai sistem perpipaan yang harus diperdalam karena masih sering dijumpai adanya kebocoran pada pipa gas, salah satunya disebabkan oleh tegangan pipa yang tidak kuat menahan berbagai macam pembebanan karena jarak *pipe support* melebihi batas yang diperbolehkan [2].

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan perancangan Sistem Perpipaan dan analisa tegangan yang mengacu pada *code* atau *standard* ANSI/ASME B31.3 dengan judul "Analisa Tegangan Sistem Perpipaan *Filling Shed* pada Terminal LPG OPSICO-Pertamina Semarang berdasarkan Jarak Support Akibat Beban Lingkungan dengan

Metode Elemen Hingga". Dimana analisis tegangan dilakukan dengan menggunakan bantuan program *software CAESAR II* dan *Software Msc. Nastran Patran*.

Berdasarkan latar belakang di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah : 1) Mendapatkan jarak pipa span yang diperbolehkan berdasarkan maksimum *stress*. 2) Mendapatkan besarnya tegangan pipa berdasarkan jarak support dan elevasi support.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Perpipaan

Sistem instalasi perpipaan adalah suatu sistem untuk mengalirkan fluida dalam hal ini adalah fluida gas dari suatu tempat ke tempat yang lain yang dikehendaki dengan menggunakan pipa untuk mendapatkan kebutuhan yang diinginkan. Pipa adalah material baja berbentuk lingkaran panjang (silinder/tabung) yang dirangkai menjadi satu kesatuan yang disebut instalasi perpipaan untuk mengalirkan fluida cair maupun gas.

2.2 Support

Support adalah alat yang digunakan untuk menahan atau menumpu sistem perpipaan. Support dirancang untuk dapat menahan berbagai macam bentuk pembebanan baik karena desain dan berat pipa (*Sustain Load*) serta karena Temperatur (*Thermal Load*). Akibat adanya pembebanan tersebut maka akan menimbulkan tegangan yang akan ditahan oleh *Pipe Support* tersebut. Penempatan *support* harus memperhatikan dari pergerakan sistem perpipaan terhadap profil pembebanan yang mungkin terjadi pada berbagai kondisi.

2.3 Beban pada Sistem Perpipaan

Pada suatu sistem perpipaan pipa akan menerima beban yang bersumber dari berat pipa, berat fluida, tekanan dalam, temperature, berat fitting, berat insulasi, tekanan luar, angin, gempa dan lain lain. Beban yang diterima akan ditahan oleh pipa sesuai kemampuan pipa yang tergantung pada material pipa. Beban pipa bisa dikategorikan menjadi dua macam yaitu statik dan dinamik [5].

2.4 Teori Elastisitas

Menurut Szilard (1989), Teori Elastisitas merupakan cabang dari fisika matematis yang mengkaji hubungan gaya, perpindahan, tegangan, regangan, dan beda elastis. Bila

suatu pejal di bebani gaya dari luar, benda tersebut akan berubah bentuk / berdeformasi, sehingga timbul tegangan dan regangan dalam. Perubahan bentuk ini tergantung pada konfigurasi geometris benda tersebut dan mekanis bahannya. Teori Elastisitas menganggap bahan bersifat *homogen* dan *Isotropik*, dengan demikian sifat mekanis bahan sama dalam segala arah.

2.4.1. Tegangan

Menurut Popov (1984), pada umumnya tegangan adalah gaya dalam yang bekerja pada luasan yang kecil tak hingga pada sebuah potongan dan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah. Suatu tegangan tertentu yang dianggap benar-benar bertitik tangkap pada sebuah titik, secara matematis didefinisikan sebagai :

$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

Dimana F adalah gaya dan A adalah luas penampang. [6]

2.4.2. Regangan

Menurut Popov (1984), perpanjangan per satuan luas disebut regangan (*strain*). Ia adalah besaran yang tidak berdimensi, tetapi lebih baik kita memberinya memiliki dimensi meter per meter atau m/m. Kadang-kadang regangan diberikan dalam bentuk persen. Secara matematis dapat didefinisikan sebagai :

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L}$$

dimana Δ adalah panjang total dan L adalah panjang awal.

III. METODOLOGI

3.1 Data Primer

Data primer merupakan data terpenting yang dibutuhkan dalam proses analisa tugas akhir ini antara lain :

- Gambar *Isometric* yang telah diuraikan dari gambar *Piping and Instrument Diagram (P&ID)*
- Data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan *CAESAR II* seperti : Jenis Fluida, *Rating Class*, *pipe size*, *Operation Pressure*, *Operation Temperature*, *Density*, spesifikasi *valve*, dan jarak antar *support*.

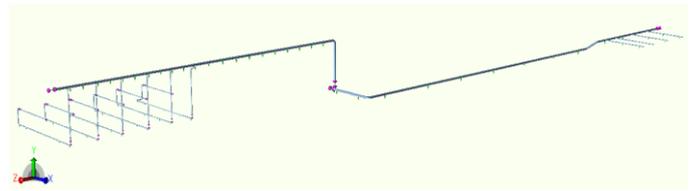
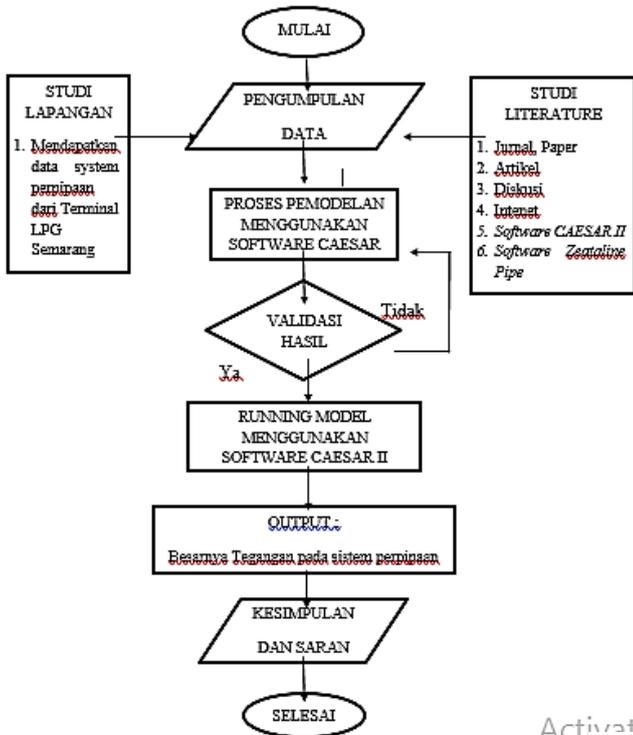
3.2 Data Sekunder

<i>Pipe Material</i>	: A106 B Sch.40
<i>Pipe Density</i>	: 0.00748 kg/cm ³
<i>Fluid Density</i>	: 0.00058 kg/cm ³
Diameter Pipa	: 219.1 mm
Ketebalan pipa	: 0.322 in
Percepatan gravitasi	: 9.8 m/s ²

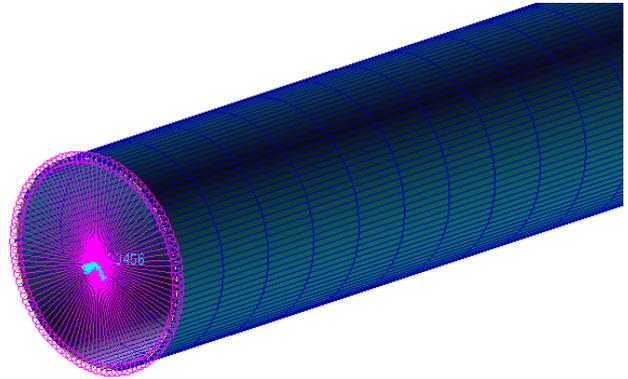
Operation Temperature : 35.5 °C
 Operation Pressure : 784.532 kPa

3.3 Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini terangkum secara sistematis dalam diagram alir di bawah ini :



Gambar 1. Permodelan Sistem Perpipaan dengan software CAESAR II



Gambar 2. Permodelan pipa dengan software Msc. Nastran Patran

4.2 Perhitungan Maximum Allowable Span

Perhitungan besarnya *maximum allowable span* diperlukan untuk mencocokkan panjang *pipe span* yang telah ditentukan oleh *pipng designer* dengan *allowable* yang didapat dari perhitungan manual. Perhitungan manual berdasarkan Maksimum *Stress*.

Self Weight of Pipe

$$W_p = \frac{\pi}{4} (OD^2 - ID^2) (\text{density of steel}) (\text{length})$$

$$= \frac{\pi}{4} (8.625^2 - 7.981^2) (0.283) (12)$$

$$= 28.51 \text{ lb/ft}$$

Content Weight

$$W_c = \frac{\pi}{4} (ID^2) (\text{length}) (\text{density})$$

$$= \frac{\pi}{4} (7.981^2) (12) \left(\frac{36.4}{(12)^3}\right)$$

$$= 12.64 \text{ lb/ft}$$

Insulation Weight

$$W_p = \frac{\pi}{4} (OD \text{ of Insulation} - OD)^2 (\text{length}) (\text{density})$$

$$= \frac{\pi}{4} (14.75^2 - 8.625^2) (12) \left(\frac{11}{(12)^3}\right)$$

$$= 8.585 \text{ lb/ft}$$

Total Weight of Pipe

$$= 28.51 + 12.64 + 8.585$$

$$= 49.735 \text{ lb/ft}$$

IV. PEMBAHASAN

4.1. Pembuatan Model

Sistem Perpipaan *Filling Shed* pada Terminal LPG OPSICO-Pertamina Semarang dimodelkan berdasarkan *Finite Element Method (FEM)* dan dibuat pemodelan serta analisisnya dalam program bantu *Intergraph CAESAR II* dan juga pemodelan pada software *Msc Patran* kemudian disimulasikan analisa hasil menggunakan software *Msc Nastran*.

Permodelan sistem perpipaan berdasarkan jarak *support* ini dibuat menjadi 1 model bertujuan untuk mengetahui tegangan maksimal yang diakibatkan oleh kondisi beban lingkungan yang terjadi yaitu pada kondisi *Sustained Load* dan *Expansion Load*.

Pada Tabel 1, diperoleh hasil perhitungan manual panjang *Pipe Span* berdasarkan Maksimum *Stress*.

$$\text{Span } L = \sqrt{\frac{0.4 Z Sh}{w}}$$

Tabel 1. *Allowable Pipe Span* Maksimum *Stress*

Z	Modulus Section (in ³)	16.8
Sh	Allowable Stress in Hot Temperature (psi)	20000
W	Total Weight (lb/ft)	49.735
L	Pipe Span (ft)	51.98
L	Pipe Span (m)	15.84

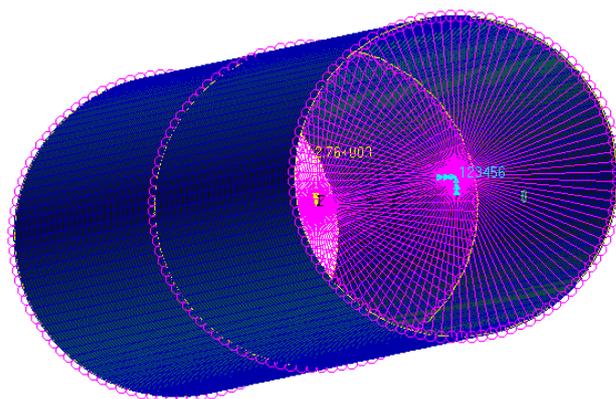
Dari hasil perhitungan *Allowable Span* dengan menggunakan persamaan maksimum *stress*, maka penentuan *designer* dalam menentukan jarak *support* sudah masuk dalam jarak *allowablenya*, dalam hal ini pemasangan *Pipe Support* maksimal menggunakan jarak antar *support* sejauh 6.05 meter. Masih berada dibawah jarak *allowable pipe span* yaitu sepanjang 15.84 meter berdasarkan perhitungan maksimum *stress*.

4.3 Kondisi Pembebanan

Kondisi pembebanan yang dilakukan penulis untuk *software CAESAR II* berjumlah 2 kondisi yakni kondisi *Sustained Load* dan *Expansion Load*, dengan perbedaan keadaan antara kondisi berdasarkan berat dan tekanan, dengan temperature. Sedangkan pada *software Msc. Nastran Patran*, penulis menggunakan pembebanan *Force* untuk beban berat dari pipa dan *Pressure* untuk beban tekanan internal fluida.

Loads Defined in Input	Load Cases	Stress Type
W - Weight	L1 W+P1	SUS
T1 - Thermal Case #1	L2 T1	EXP
P1 - Pressure Case #1		

Gambar 3. Kondisi pembebanan pada *software Intergraph CAESAR II*



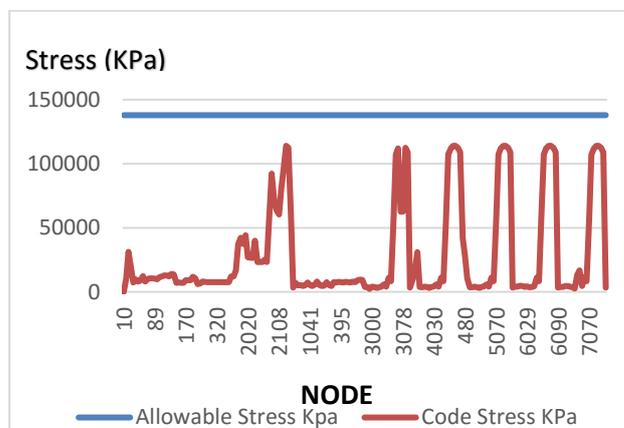
Gambar 4. Pemberian beban pada *Msc. Nastran Patran*

4.4 Analisa Tegangan Pipa

Setelah perhitungan manual *allowable pipe span*, kemudian mencocokkan data yang diperoleh dengan *Allowable Stress* yaitu batasan tegangan *yield* pada ASME B.313 [6], jika ada salah satu *pipe support* yang memiliki tegangan yang melebihi batas *allowance* maka akan dilakukan pemodelan ulang *pipe support*.

Pada *Software Intergraph CAESAR II*:

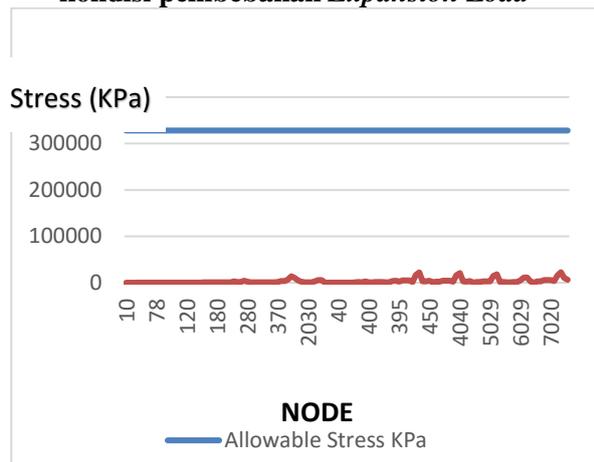
4.4.1 Analisa pada sistem perpipaan dengan kondisi pembebanan *Sustained Load*



Gambar 5. Hasil Tegangan *Sustained Load*

Pada kondisi ini terlihat bahwa pipa pada bagian *elbow* yaitu *node* 2118, 3075, 3078, 4078, 5078, 6078, 7078 memiliki tegangan paling besar adalah sebesar 115308.4 kPa. Namun besar tegangan tersebut masih berada di bawah *Allowable Stress Sustained Load* yang diijinkan yaitu sebesar 137892 kPa.

4.4.1 Analisa pada sistem perpipaan dengan kondisi pembebanan *Expansion Load*

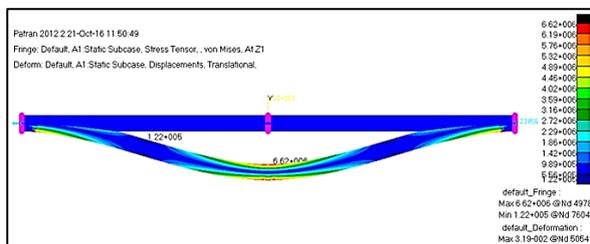


Gambar 6 Hasil Tegangan *Expansion Load*

Pada kondisi ini tegangan paling besar juga terdapat pada bagian *elbow* yaitu *node* 2118, 3075, 3078, 4078, 5078, 6078, 7078 adalah sebesar 22701.6 kPa. Namun besar tegangan tersebut masih berada di bawah *Allowable Stress Expansion Load* yang diijinkan yaitu sebesar 327729 kPa.

Pada Software *Msc. Nastran Patran*:

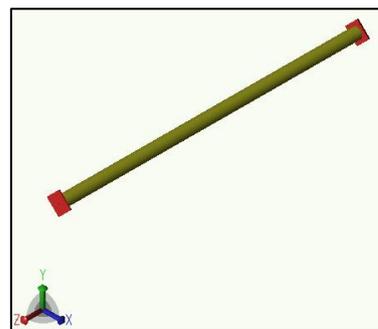
4.4.1 Analisa pada sistem perpipaan *Filling Shed* dengan kondisi pembebanan *Force*



Gambar 7. Hasil Analisa *Msc. Nastran Patran*

Pada kondisi ini dilakukan analisa pada bagian pipa dengan jarak *support* pipa terpanjang yaitu sepanjang 6.05 meter. Hasil analisa pada *Msc. Nastran Patran* didapatkan tegangan terbesar pada *node* 4975 sebesar 6620 kPa dan tegangan terkecil pada *node* 7604 sebesar 122 kPa. Sedangkan hasil deformasi terbesar terdapat pada *node* 5054 sebesar 3.19×10^{-2} kPa.

Pemodelan pada *software CAESAR II* pada *node* 140-150 didapatkan hasil Analisa tegangan sebesar 6641.7 kPa dengan *allowable stress* sebesar 137892 kPa.



Gambar 4.31 Pemodelan pipa pada *node* 140-150 *software Intergraph CAESAR II*

```

Piping Code: BS1.3      = BS1.3 -2012, Jan 10, 2013

CODE STRESS CHECK PASSED      : LOADCASE 2 (SUS) W+P1

Highest Stresses: (KPa      )
Ratio (%):                    4.8      @Node 20
Code Stress:                   6641.7   Allowable Stress: 137892.0
Axial Stress:                   0.0      @Node 20
Bending Stress:                 6641.7   @Node 20
Torsion Stress:                 0.0      @Node 20
Hoop Stress:                   0.0      @Node 20
Max Stress Intensity:          6641.7   @Node 20

10      6641.7      0.0      1.000      1.000      6641.7      137892.0
20      6641.7      0.0      1.000      1.000      6641.7      137892.0
    
```

Gambar 4.32 Hasil Running Analisa *software Intergraph CAESAR II*

4.5 Perbandingan Hasil Antara Kedua *Software*

Setelah dilakukan analisa linear pada kedua *software* dengan semua keadaan pembebanan yang ada, didapatkan hasil sebagai berikut :

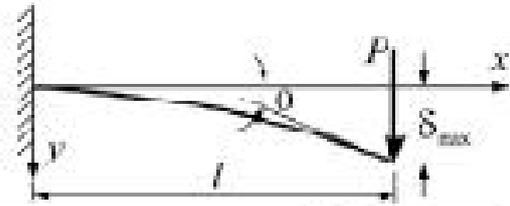
Tabel 3. Rekap Hasil Analisa Tegangan

Node	Total Tegangan (kPa)			
	CAESAR II	Msc. Nastran Patran	Defiasi	Allowable
140-150	6641.7	6620	3%	137892

Dari hasil total tegangan *Von Mises* pada *node* 140-150 yang telah didapat, maka dapat dilihat perbedaan nilai dari analisa tegangan dengan *software CAESAR II* dan dengan *software Msc. Nastran Patran*. Hasil Analisa tegangan permodelan pada *software CAESAR II* mempunyai tegangan lebih besar yaitu sebesar 6641.7 kPa dibandingkan dengan hasil analisa permodelan pada *software Msc. Nastran Patran* yang sebesar 6620 kPa. Akan tetapi, kedua hasil analisa total tegangan tersebut masih berada dibawah batas *allowable* tegangan yang sebesar 137892 kPa.

4.7 Validasi Model

Sebelum diaplikasikan pada kondisi yang sebenarnya, model harus divalidasikan dengan perhitungan mekanika teknik agar tidak terjadi kesalahan pada saat permodelan.



Gambar 8. Defleksi Balok pada Mekanika Teknik

Untuk validasinya sendiri menggunakan perhitungan defleksi balok dengan rumus sebagai berikut :

$$v = \frac{PL^3}{3EI}$$

dimana :

v = defleksi (m)

P = gaya (N)

L = panjang benda (m)

E = modulus elastisitas bahan (Pa)

I = momen inertiya benda

sehingga,

$P = 2759.3635 \text{ N}$

$L = 6.05 \text{ m}$

$E = 2.0339 \times 10^{11}$

$I = 301.6 \times 10^{-7}$

$$v = \frac{2759.3635 \times 6.05^3}{3 \times 2.0339 \times 10^{11} \times 301.6 \times 10^{-7}} = 3.32 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Tabel 4. Perhitungan Validasi

Hasil Deformasi Model		Persentasi Validitas
Software	Mekanika Teknik	
$3.19 \times 10^{-2} \text{ m}$	$3.32 \times 10^{-2} \text{ m}$	96 %

V. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Panjang *pipe span* pada sistem perpipaan Terminal LPG OPSICO-Pertamina Semarang memiliki jarak *support* maksimal sepanjang 6.05 meter. Jarak tersebut masih berada di bawah batas jarak *maximum allowable span* berdasarkan perhitungan panjang pipa *span* akibat maksimum *stress* sepanjang 15.84 meter. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa

panjang *pipe span* berada dalam *range* yang aman

2. Tegangan pipa pada sistem perpipaan *Filling Shed* Terminal LPG OPSICO-Pertamina Semarang berdasarkan *software CAESAR II* pada kondisi *Sustained Load* memiliki tegangan maksimal sebesar 115308.4 kPa (*node* 2118, 3075, 3078, 4078, 5078, 6078, 7078), masih berada di bawah nilai *allowable stress Sustained Load* sebesar 137892 kPa. Pada kondisi *Expansion Load* adalah sebesar 22701.6 kPa (*node* 2118, 3075, 3078, 4078, 5078, 6078, 7078), masih berada dibawah nilai *Allowable Stress Expansion Load* sebesar 327729 kPa. Sedangkan berdasarkan *software Msc. Nastran Patran* analisa pada jarak *support* yang digunakan yaitu 6.05 meter (*node* 140-150) didapatkan tegangan pipa sebesar 6620 kPa. Pada *software CAESAR II* untuk *node* 140-150 didapatkan tegangan pipa sebesar 6641.7 kPa.

5.2 Saran

Hasil penelitian yang dilakukan penulis masih banyak yang dapat dilanjutkan. Sehingga saran penulis untuk penelitian lebih lanjut (*future research*) antara lain :

1. Dapat dilakukan analisa lebih lanjut mengenai *Hydrotest Load*, *Occasional Load*, maupun *Hanger Load*.
2. Dapat dilakukan pengecekan terhadap beban-beban yang terdapat pada instrumen-instrumen pipa seperti *Nozzle Vessel Check*.
3. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, perlu dilakukan analisa dinamis karena struktur menerima beban yang kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Parada Anugerah, Kurniawan. (2014). *Analisa Rancangan Pipe Support pada Sistem Perpipaan High Pressure Vent Berdasarkan Stress Analysis denan Pendekatan Caesar II*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)., Indonesia.
- [2] Dr. D. P. Vakharia, Mohd. Farooq A. (2009). *Determination of Maximum Span Between Pipe Supports Using Maximum Bending Stress Theory*. S. V. National Institute of Technology., India.
- [3] Kannappan, Sam. (1986). *Introduction to Pipe Stress Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.
- [4] _____. ASME. (2012) . *B31.3 Process Piping*. New York : American Society of Mechanical Engineers.

- [5] Grinel,ITT. (1981). *Piping Design and Engineering*. ITT Grinnell Industrial Piping Corporation, U.S.A.