

Analisa Tegangan Dua Jalur Pipa dari Boiler menuju *High Pressure Steam Header* (HPSH) berdasarkan ASME B31.1 Menggunakan *Software Pipe Stress Analysis*

M.Dikcky Tri R.^{1*}, George Endri Kusuma², Pekik Mahardhika³

Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1,3}*

Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia²

Email : dikcky.tri@student.ppns.ac.id^{1}; kusuma.george@ppns.ac.id^{2*}; pekikmahardhika@ppns.ac.id^{3*}*

Abstract - Steam is used to generate electricity in industrial. Steam is distributed using piping system which has high temperature induces expansion due to expansion load. The way to resolve is installing expansion loop. The early design didn't have any expansion loop on two lines from boiler to High Pressure Steam Header (HPSH). In designing expansion loop, must consider displacement value in order to minimize expansion and overstress. The used methodology in designing expansion loop is measuring dimension and quantity of expansion loop, and type selection and position of support, and then value of stress will be evaluated according appropriate standard. In this research, there 3 alternative design of expansion loop on each line which is used to analyze stress and getting optimum design in all conditios. Software of Pipe Stress Analysis Integraph is used to analyze the stress in technical aspect. The result of 3 alternative design shows that stress value due to sustain load, thermal load, and occasional load are under allowable stress according to ASME B31.1. The optimum design of expansion loop on line S45 12.100.01 needs 8 expansion loops and line S45 12.100.02 needs 7 expansion loops.

Keyword: *Displacement, expansion, expansion loop, high steam, pipe stress analysis software, pipe support*

Nomenclature

- Δ = Thermal expansion, in (mm)
- α = Koefisien Thermal Expansion, in/in/°F (mm/mm/°C)
- L = Panjang Pipa, in (mm)
- T_o = Temperatur Operasi, °F (°C)
- T_i = Temperatur Instalasi, °F (°C)
- i = stress intensification factor
- Ma = resultan beban momen pada *cross section* akibat beban dan beban sustain lainnya, in-lb (mm-N)
- Sh = tegangan maksimum yang diijinkan (*hot*) temperature material dasar
- S_L = penjumlahan dari tegangan longitudinal akibat tekanan, berat, dan pembebanan sustain lainnya
- Z = section modulus, in³. (mm³)
- Mc = range resultan beban momen pada *cross section* akibat range beban *displacement*, in-lb (mm-N)
- Mb = resultan beban momen pada *cross section* akibat beban *occasional*, seperti dorongan dari beban *relief / safety valve*, dari tekanan dan *flow transients*, dan gempa, in-lb (mm-N)
- Ls = Allowable pipe span (in)
- Z = Sectional Modulus (in³)
- W = Berat total pada pipa (lb/in)

1. PENDAHULUAN

Suatu plan yang bertujuan untuk melakukan kegiatan produksi berskala besar dengan jangka

waktu yang lama, *equipment* utama yang harus ada sebagai sumber tenaga penggerak *equipment* lain yaitu boiler. Boiler merupakan sebuah *equipment* yang berfungsi utama untuk menghasilkan *steam*. *Steam* ini akan menjadi bahan utama untuk membangkitkan energi listrik (melalui turbin) hingga mampu untuk menggerakkan *equipment* lain dalam satu *plant*. Proyek pembangunan pabrik gula juga pasti terdapat boiler sebagai komponen utama. *Steam* yang telah dihasilkan oleh boiler, maka akan dialirkan ke sebuah header. *Header* ini yang akan mengalirkan *steam* tersebut menuju komponen lainnya sesuai desain. Sistem perpipaan dari boiler menuju *header*, diharuskan memiliki desain yang efisien dan efektif. Maka, ini perlu dilakukan penelitian lebih mendalam dalam jalur pipa tersebut agar *steam* dapat mengalir dengan baik. [1]

Aspek-aspek yang harus diperhatikan dalam merancang desain sistem perpipaan dari boiler menuju header adalah aspek teknis dan aspek teknis dan aspek ekonomis. Pipa yang digunakan untuk mengalirkan *steam* dengan tekanan dan temperatur tinggi dari boiler menuju *header* adalah pipa dengan material A335 Gr P11 dan nominal diameter sebesar 12 inch. *Steam* yang dihasilkan dari boiler memiliki temperatur operasi 450 °C dan tekanan operasi 45 barG. Terdapat dua *line* dari boiler menuju *header* yang memiliki posisi sejajar dan berdekatan sehingga dengan adanya temperatur dan tekanan setinggi itu, maka pemuaian akan terjadi akibat beban ekspansi yang dapat menyebabkan kedua *line* pipa tersebut mengalami tabrakan satu sama lain. Pemuaian dapat terjadi dikarenakan fluida yang memiliki temperatur

tinggi dan perbedaan temperatur *ambien* menuju temperatur operasional yang cukup jauh. Hal tersebut mengakibatkan pipa mengalami pertambahan panjang dengan waktu yang cukup cepat serta mengakibatkan tegangan pada pipa semakin bertambah.[2]

Beberapa alternatif yang dapat dilakukan antara lain seperti penambahan *expansion loop* pada *line* tersebut yang diharapkan mampu mengurangi adanya beban ekspansi dan tegangan tinggi yang terjadi pada pipa. Perancangan *expansion loop* harus mempertimbangkan nilai *displacement* yang dibutuhkan agar pemuaian yang terjadi akibat tegangan dan temperatur tinggi dari fluida, mampu ditanggulangi dengan baik serta tegangan yang terjadi dapat dikurangi. Penentuan *pipe support* juga merupakan hal yang harus dipertimbangkan dalam perancangan *expansion loop*.

2. METODOLOGI

2.1 Thermal Expansion

Thermal Expansion adalah fenomena material logam mengalami perpanjangan atau peregangannya ketika terjadi peningkatan temperatur yang diberikan kepada material logam tersebut[3]. Peningkatan temperatur dapat disebabkan oleh perubahan *temperature* ketika *start-up* maupun *shutdown* pada sistem perpipaan, yaitu dari *temperature* kamar (*ambient*) naik/turun ke *temperature* operasi yang menyebabkan panjang dari pipa dan komponennya berubah karena ekspansi (menambah panjang) ataupun kontraksi (memendek)[4]. Perubahan panjang dari *thermal expansion* dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$\Delta = \alpha \times L \times (T_o - T_i) \tag{2.1}$$

2.2 Penentuan Desain Expansion Loop

Penentuan dimensi *expansion loop* harus mempertimbangkan dimensi *pipe rack* tempat *expansion loop* tersebut akan terinstal[5]. Penentuan dimensi *expansion loop* dari setiap segment berbeda – beda, hal ini disebabkan karena pemuaian yang terjadi dan jumlah dari *expansion loop* dari setiap segment juga berbeda – beda[6]. Langkah awal ialah mencari nilai *L_{anchor - anchor}* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta L_{loop} = \alpha \times L_{(anchor - anchor)} \times (T_o - T_i) \tag{2.2}$$

$$L_{(anchor - anchor)} = \frac{\Delta L_{loop}}{\alpha \times (T_o - T_i)} \tag{2.3}$$

Langkah selanjutnya setelah mengetahui nilai *L_{anchor - anchor}* ialah menentukan panjang *loop* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_{loop} = L_{anchor} - [(L_{anchor\ point} \times 2) + (L_{guide\ span} \times 2)] \tag{2.4}$$

2.3 Tegangan Akibat Sustain Load

Sustained load adalah beban yang bekerja secara kontinyu pada pipa. Tegangan yang terjadi merupakan jumlah dari tegangan longitudinal (*S_L*) yang dikarenakan tekanan, berat dan beban *sustain*

lainnya. Sehingga *sustain load* dapat dirumuskan sebagai berikut berdasarkan ASME B31.1[7]:

$$(U.S. Customary Units) \\ S_L = \frac{P \times D_o}{4 \times t \times n} + \frac{0.75 \times i \times M_a}{Z} \leq 1.0 \text{ Sh} \tag{2.5}$$

2.4 Tegangan Akibat Beban Ekspansi

Expansion load merupakan beban akibat temperatur fluida yang mengalir beserta sifat dari material pipa yang dapat menyebabkan terjadinya pemuaian. Analisa pipa lurus akibat ekspansi *thermal* didapat berdasarkan metode *guided cantilever*[8]. Tegangan izin pada kondisi *expansion thermal load* dan beban *cyclic* lainnya harus memenuhi persyaratan berdasarkan ASME B31.1 (2.6):

$$(U.S. Customary Units) \\ \frac{P \times OD}{4 \times t \times n} + \frac{0.75 \times i \times M_a}{Z} + \frac{0.75 \times i \times M_b}{Z} \leq kSh \tag{2.6}$$

2.5 Tegangan Akibat Beban Occasional

Occasional load adalah beban primer yang terjadi hanya dalam kurun waktu yang singkat dan jarang terjadi. Berdasarkan ASME B31.1 pada ketentuan 104.8.2 menyatakan bahwa jumlah tegangan longitudinal yang disebabkan oleh tekanan, berat dan pembebanan *sustained* yang lain termasuk *seismic* harus memenuhi persyaratan (2.7) :

$$(U.S. Customary Units) \\ \frac{P \times OD}{4 \times t \times n} + \frac{0.75 \times i \times M_a}{Z} + \frac{0.75 \times i \times M_b}{Z} \leq kSh \tag{2.7}$$

2.6 Pipe Support

Penyangga pipa dalam sistim perpipaan adalah sebuah alat yang berfungsi untuk menjadi penahan atau penumpu pipa yang melintas dari suatu tempat ke tempat yang lain[9]. Untuk perhitungan jarak antar *support* dapat menggunakan persamaan berikut[10] :

$$L_s = \sqrt{\frac{0.33 \times Z \times Z \times Sh}{W}} \tag{2.8}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Displacement

Berdasarkan persamaan 2.1. maka dapat dilakukan perhitungan *displacement* pada setiap *segment* untuk mengetahui pemuaian yang terjadi dan memastikan perlu atau tidaknya penambahan *expansion loop*, berikut ini merupakan hasil perhitungan *displacement* :

Tabel 3. 1 Perhitungan *Displacement* S45 12.100.01

Segment	L _{segment} (m)	Dis.Segment (m)	Displacement (m)	Ex.Loop Need
1	15.888	0.105	0.055	Needed
2	7.725	0.051	0.001	No Need
3	4.338	0.029	-0.021	No Need
4	11.574	0.077	0.027	No Need
5	39.372	0.261	0.211	Needed
6	30.811	0.204	0.154	Needed
7	2.003	0.013	-0.037	No Need
8	2.211	0.015	-0.035	No Need

Tabel 3. 2 Perhitungan *Displacement* S45 12.100.02

Segment	L _{segment} (m)	Dis.Segment (m)	Displacement (m)	Ex.Loop Need
1	15.888	0.105	0.055	Needed
2	10.789	0.071	0.021	No Need
3	7.301	0.048	-0.002	No Need
4	3.975	0.026	-0.024	No Need
5	11.574	0.077	0.027	No Need
6	32.228	0.214	0.164	Needed
7	32.789	0.217	0.167	Needed
8	3.164	0.021	-0.029	No Need

3.2 Perhitungan Dimensi Expansion Loop

Berdasarkan persamaan 2.4 maka didapatkan dimensi dari *expansion loop* untuk setiap *segment* dari setiap variasi desain sebagai berikut :

Tabel 3. 3 Dimensi *Expansion Loop* S45 12.100.01 (Desain 1)

Segment	ΔL _{loop} (m)	L _{anchor} (m)	L _{anchor point} (m)	L _{guide} (m)	L _{Loop} (m)	H _{loop} (m)
1	0.105	15.888	2	1	9.888	4
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0.261	39.372	11	1	15.372	9
6	0.204	30.811	11	1	6.811	9
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0

Tabel 3. 4 Dimensi *Expansion Loop* S45 12.100.02 (Desain 1)

Segment	ΔL _{loop} (m)	L _{anchor} (m)	L _{anchor point} (m)	L _{guide} (m)	L _{Loop} (m)	H _{loop} (m)
1	0.105	15.888	2	1	9.888	4
2	0	0	0	0	0.000	0
3	0	0	0	0	0.000	0
4	0	0	0	0	0.000	0
5	0	0	0	0	0.000	0
6	0.214	32.228	11	1.5	7.228	9
7	0.217	32.789	11	1.5	7.789	9
8	0	0	0	0	0.000	0

Tabel 3. 5 Dimensi *Expansion Loop* S45 12.100.01 (Desain 2)

Segment	ΔL _{loop} (m)	L _{anchor} (m)	L _{anchor point} (m)	L _{guide} (m)	L _{Loop} (m)	H _{loop} (m)
1	0.053	7.944	2	1	1.944	3
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0.087	13.124	1	1.5	8.124	9
6	0.102	15.406	1	1.5	10.406	9
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0

Tabel 3. 6 Dimensi *Expansion Loop* S45 12.100.02 (Desain 2)

Segment	ΔL _{loop} (m)	L _{anchor} (m)	L _{anchor point} (m)	L _{guide} (m)	L _{Loop} (m)	H _{loop} (m)
1	0.053	7.944	2	1	1.944	3
2	0	0.000	0	0	0.000	0
3	0	0.000	0	0	0.000	0
4	0	0.000	0	0	0.000	0
5	0.107	16.114	2	1.5	9.114	9
6	0.072	10.930	2	1.5	3.930	9
7	0	0.000	0	0	0.000	0
8	0	0.000	0	0	0.000	0

Tabel 3. 7 Dimensi *Expansion Loop* S45 12.100.01 (Desain 3)

Segment	ΔL _{loop} (m)	L _{anchor} (m)	L _{anchor point} (m)	L _{guide} (m)	L _{Loop} (m)	H _{loop} (m)
1	0.053	7.944	2	1	1.944	3
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0.065	9.843	1	1	5.843	6
6	0.068	10.270	1	1	6.270	6
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0

Tabel 3. 8 Dimensi *Expansion Loop* S45 12.100.02 (Desain 3)

Segment	ΔL _{loop} (m)	L _{anchor} (m)	L _{anchor point} (m)	L _{guide} (m)	L _{Loop} (m)	H _{loop} (m)
1	0.053	7.944	2	1	1.944	3
2	0	0.000	0	0	0.000	0
3	0	0.000	0	0	0.000	0
4	0	0.000	0	0	0.000	0
5	0.071	10.743	1	1	6.743	6
6	0.054	8.197	1	1	4.197	6
7	0	0.000	0	0	0.000	0
8	0	0.000	0	0	0.000	0

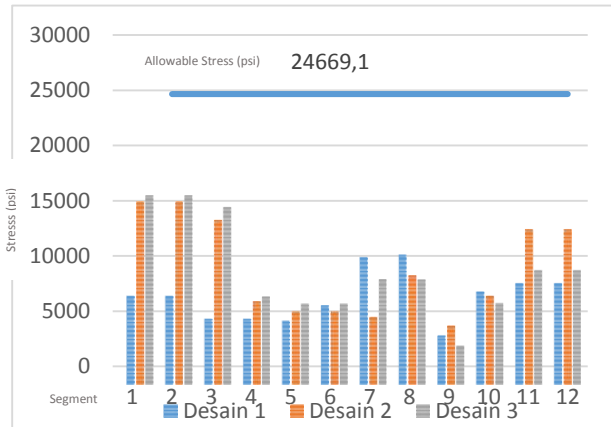
3.3 Peletakan & Jenis Pipe Support

Berdasarkan persamaan 2.8 maka didapatkan nilai *allowable pipe span* sebesar 11 m, sedangkan jenis *pipe support* yang digunakan adalah sebagai berikut :

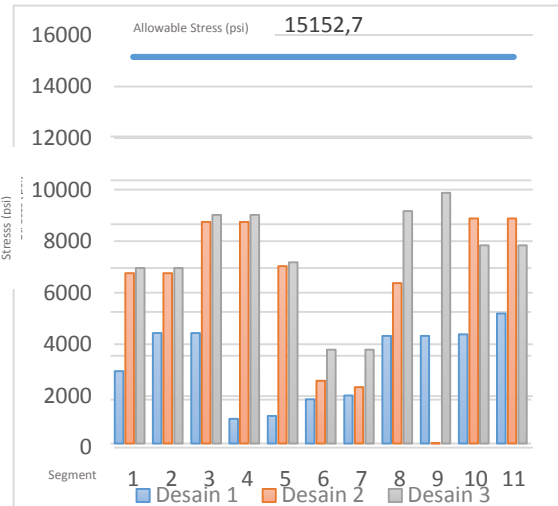
- 1) *Shoe Support*
Shoe support merupakan *support* pipa dengan penahan beban pipa arah *vertical*.
- 2) *Guide Support*
Guide support yang berfungsi menahan pipa dari pergerakan arah *lateral*. Peletakkan *support* ini berada disisi kaki *expansion loop*. Tujuannya agar pemuaian yang terjadi pada kaki *expansion loop* hanya dapat bergerak kearah *longitudinal*.
- 3) *Beam Bolted Hanger*
Beam bolter hanger memiliki fungsi untuk menahan pipa dari gaya tarik bumi atau gaya gravitasi dalam bentuk menggantung pipa.
- 4) *Flange Stanchion*
Flange Stanchion berfungsi menahan pipa pada arah *horizontal*.

3.4 Analisa Tegangan pada Expansion Loop

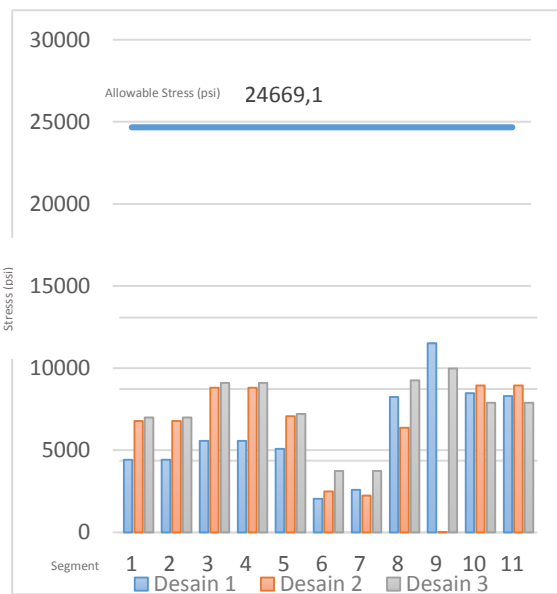
Berdasarkan analisa tegangan yang telah dilakukan dengan menggunakan *pipe stress analysis software*, maka tegangan yang terjadi akibat pembebanan dapat dianalisa dari tiap – tiap desain :



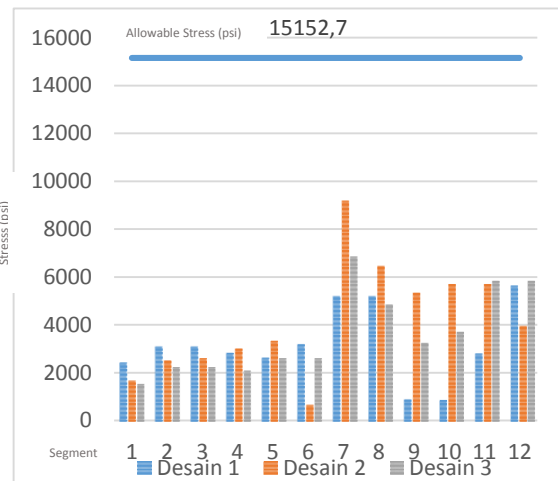
Gambar 3. 1 Grafik Perbandingan Tegangan Thermal Load S45 12.100.01



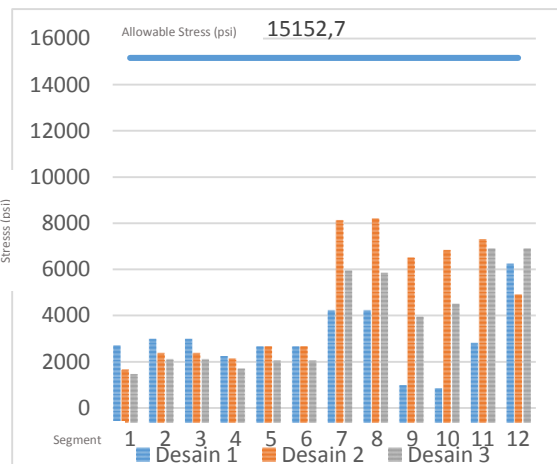
Gambar 3. 4 Grafik Perbandingan Tegangan Wind Load S45 12.100.02



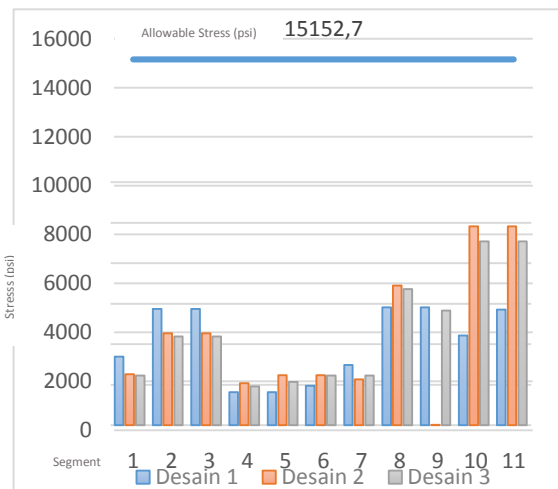
Gambar 3. 2 Grafik Perbandingan Tegangan Thermal Load S45 12.100.02



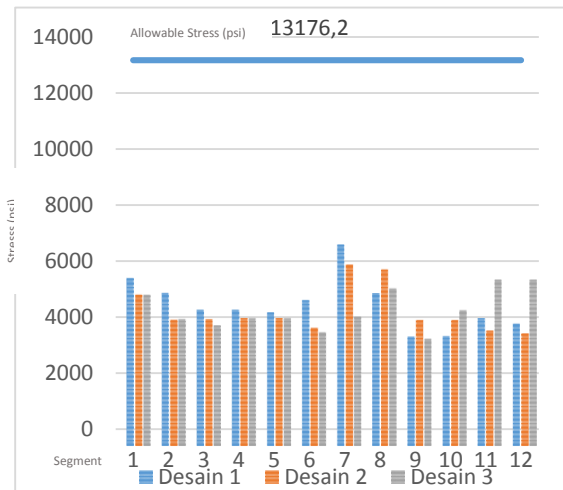
Gambar 3. 5 Grafik Perbandingan Tegangan Seismic Load S45 12.100.01



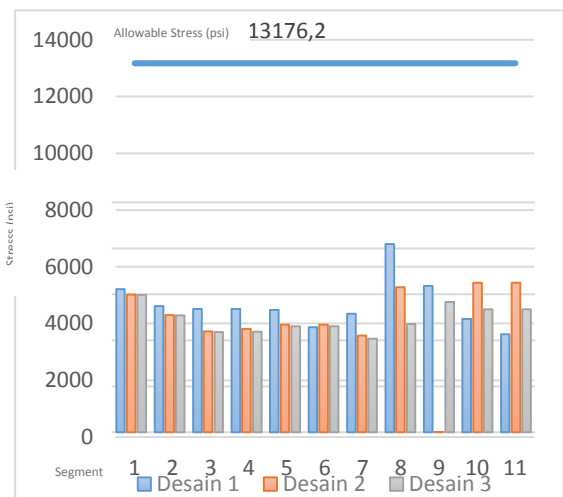
Gambar 3. 3 Grafik Perbandingan Tegangan Wind Load S45 12.100.01



Gambar 3. 6 Grafik Perbandingan Tegangan Seismic Load S45 12.100.02



Gambar 3. 7 Grafik Perbandingan Tegangan Sustain Load S45 12.100.01



Gambar 3. 8 Grafik Perbandingan Tegangan Sustain Load S45 12.100.02

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian “Analisa Tegangan Dua Jalur Pipa dari Boiler menuju *High Pressure Steam Header* (HPSH) berdasarkan ASME B31.1 menggunakan *Software Pipe Stress Analysis*” yang telah dilakukan dihasilkan kesimpulan sebagai berikut:

- 1.) Berdasarkan perhitungan dan perencanaan desain dari dimensi *expansion loop* dipengaruhi oleh keterbatasan ruang pada tempat *expansion loop* tersebut terinstal serta jumlah dari *expansion loop* itu sendiri, namun untuk mendapatkan *expansion loop* dengan penyerapan pemuaian yang terbaik yaitu dengan memperbanyak / mengurangi jumlah *expansion loop* dan memperpanjang / memperpendek lengan dan jarak *support* dari *expansion loop*.
- 2.) Berdasarkan perhitungan yang dilakukan didapatkan jarak peletakan antar *support* maksimal sejauh 11 km. Jenis *support* yang

digunakan antara lain *shoe support* berfungsi untuk menahan beban pipa searah *vertical*, *guide support* berfungsi untuk menahan pergerakan pipa searah lateral sehingga pemuaian yang terjadi hanya searah longitudinal.

- 3.) Berdasarkan 3 desain alternatif yang telah dilakukan nilai tegangan akibat beban *sustain*, *thermal* maupaun *occasional* semuanya masih dibawah tegangan izin bedasarkan standar ASME B31.1 sehingga hasil analisa tegangan dapat diterima. *Line number* S45 12.100.01 akan menghasilkan fungsi dan hasil optimal ketika memasang 8 *expansion loop*. *line number* S45 12.100.02 memiliki hasil yang optimal dalam menahan pembebanan dan tegangan yang dihasilkan relatif kecil dapat menggunakan 7 *expansion loop*.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyadari penyelesaian dan penyusunan Tugas Perancangan ini tidak terlepas dari kerjasama, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak, sehingga penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

- 1.) Allah SWT atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya Penulis dapat menyelesaikan penulisan artikel dengan lancar dan tepat waktu.
- 2.) Kedua orang tua (Bapak Achmad Kauli dan Ibu Listiani) yang telah memberikan banyak kasih sayang, nasehat hidup, do’a, dukungan moril serta materil, dan segalanya bagi penulis.
- 3.) Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc., MRINA selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- 4.) Bapak George Endri Kusuma, ST., MSc.Eng sebagai dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan serta ilmu yang bermanfaat selama pengerjaan Tugas Akhir.
- 5.) Bapak Pekik Mahardhika, SST., MT. sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama pengerjaan Tugas Akhir.
- 6.) Bapak Dede Malik selaku Lead Piping Engineer PT. Barata Indonesia EPCC yang telah memberikan banyak pengarahan dan bimbingan selama penulis melakukan On the Job Training
- 7.) Kedua saudara kandung (Citra Erawati dan Sinta Dewi) yang telah memberikan banyak kasih sayang, nasehat hidup, do’a, dukungan semangat dan segalanya bagi penulis.
- 8.) Teman – teman seperjuangan Teknik Perpipaan angkatan 2016 yang telah memberikan dukungan, memori , motivasi, kebersamaan, canda tawa dan kebahagiaan kepada penulis selama kuliah di PPNS.
- 9.) Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. M. Prastian, "Desain Alternatif Jalur Pipa Transfer High Steam 16"-HS-2003-D22A-HS," *2nd Conf. Pip. Eng. Its Appl.*, 2017.
- [2] A. D. Iswara, "Desain Expansion Loop Pada Line 07/AFC/AEI/-LND/C-18.0127/ 004 Untuk Proses Molecular Sieve Adsorber Di Perusahaan Gas," *4th Conf. Pip. Its Appl.*, 2019.
- [3] D. Agustinus, *PENGANTAR PIPING STRESS ANALYSIS*. Jakarta: Entry Augustino Publisher, 2009.
- [4] M. Hasan, "DESAIN EXPANSION LOOP PADA LINE 116SV203-150-16H20 FATY ACID DESTILATION PT.WILMAR NABATI INDONESIA," *2nd Conf. Pip. Eng. Its Appl.*, 2017.
- [5] P. T. Pratama, *Pelatihan Dasar Tegangan Pipa*. Jakarta: IOCS ASIA PTE. LTD, 2004.
- [6] M. K. Company, *DESIGN OF PIPING SYSTEMS*. U.S.A: John Wiley & Sons Inc, 1956.
- [7] ASME, *ASME B31.1 POWER PIPING ASME Code for Pressure Piping*. New York: Three Park Avenue, 2012.
- [8] L. Nayyar, Mohinder, *PIPING HANDBOOK*. U.S.A: McGraw Hill Inc, 2000.
- [9] A. Chamsudi, *PIPING STRESS ANALYSIS*. Jakarta: REKAYASA INDUSTRI, 2005.
- [10] P. Mahardhika, "Penentuan Allowable Span Antar Penyangga Pipa SLF Berdasarkan Tegangan, Defleksi, Frekuensi Alami," 2017.