

Analisis *Symmetrical* dan *Nonsymmetrical Vertical Expansion Loop* untuk Meningkatkan Fleksibilitas dan Menurunkan Tegangan Pipa Berdasarkan ASME B31.3

Pekik Mahardhika*, Adi Wirawan Husodo, George Endri Kusuma, R. Dimas Endro Witjonarko, Ekky Nur Budiyo

*Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jl. Teknik Kimia Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya 60111*

Abstrak

*Sistem perpipaan merupakan media yang digunakan untuk membawa, mendistribusikan, mencampur, memisahkan, melepaskan, mengukur, mengontrol atau mengecek aliran fluida, serta mentransmisikan tekanan fluida. Desain sistem perpipaan pasti mengalami tegangan yang disebabkan oleh efek termal dan tekanan. Efek termal menyebabkan terjadinya ekspansi pada pipa. Ekspansi pipa berpengaruh terhadap fleksibilitas pipa sehingga perlu didesain expansion loop. Expansion loop merupakan alat yang digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas pada sistem perpipaan. Artikel ini bertujuan menganalisis *symmetrical* dan *nonsymmetrical* pada *vertical expansion loop* apakah dapat meningkatkan fleksibilitas dan menurunkan tegangan pipa. Artikel ini dilakukan desain expansion loop dengan 3 trial yaitu trial 1 (*Vertical Expansion Loop Symmetrical*), trial 2 (*Vertical Expansion Loop Nonsymmetrical 1*), dan trial 3 (*Vertical Expansion Loop Nonsymmetrical 2*). Ketiga trial tersebut dibandingkan nilai fleksibilitas dan tegangannya berdasarkan persyaratan ASME B31.3. Hasil studi menunjukkan bahwa semua trial 1, trial 2, dan trial 3 memiliki fleksibilitas yang baik dengan nilai 0,00016 karena tidak melebihi persyaratan ASME B31.3. Nilai tegangan code desain tertinggi pada trial 1 yaitu 5955 psi (Node A07F), trial 2 yaitu 5906 psi (Node A05F), dan trial 3 yaitu 5906 psi (Node A06N). Semua trial memiliki tegangan code tidak melebihi tegangan yang diijinkan (20000 psi). Sehingga desain *symmetrical* atau *nonsymmetrical* pada *vertical expansion loop* sama-sama dapat meningkatkan fleksibilitas dan menurunkan tegangan pipa.*

Kata kunci: *fleksibilitas; ekspansi pipa; tegangan; termal; symmetrical & nonsymmetrical loop*

Abstract

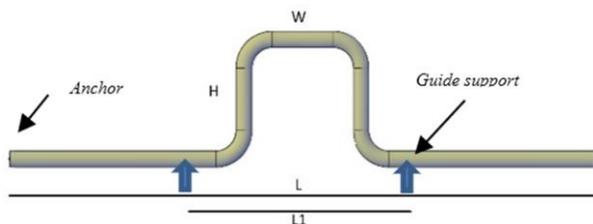
[Title: Analysis of *Symmetrical* and *Nonsymmetrical Vertical Expansion Loop* to Increase Flexibility And Reduce Pipe Stress Based On ASME B31.3] *The piping system is a medium used to convey, distribute, mix, separate, discharge, meter, control or snub fluid flows, and transmit a fluid pressure. The piping system design will have stresses due to thermal and pressure effect. The thermal effect induce pipe expansion. The pipe expansion affect to pipe flexibility, so it is necessary to design an expansion loop. Expansion loop is a method used to increase flexibility in piping systems. This article aims to analyze *symmetrical* and *nonsymmetrical* in *vertical expansion loops* whether it can increase flexibility and reduce pipe stress. This article conducts an expansion loop design with 3 trials, namely trial 1 (*Vertical Expansion Loop*), trial 2 (*Nonsymmetrical Vertical Expansion Loop 1*), and trial 3 (*Nonsymmetrical Vertical Expansion Loop 2*). The three trials were compared for flexibility and stress values based on ASME B31.3 requirements. The study results show that all trial 1, trial 2, and trial 3 have good flexibility with a value of 0.00016 because not exceed the requirements of ASME B31.3. The highest design code stress value in trial 1 is 5955 psi (Node A07F), trial 2 is 5906 psi (Node A05F), and trial 3 is 5906 psi (Node A06N). All trials have a code stress not exceeding the allowable stress (20000 psi). So that the *symmetrical* or *nonsymmetrical* design of the *vertical expansion loop* can both increase flexibility and reduce pipe stress.*

^{*)} Penulis Korespondensi
E-mail: pekikmahardhika@ppns.ac.id

Keywords: *flexibility; pipe expansion; stress; thermal; symmetrical & nonsymmetrical*

1. Pendahuluan

Sistem perpipaan merupakan media yang digunakan untuk membawa, mendistribusikan, mencampur, memisahkan, melepaskan, mengukur, mengontrol atau mengecek aliran fluida, serta mentransmisikan tekanan fluida (The American Society of Mechanical Engineers, 2016). Desain sistem perpipaan pasti mengalami tegangan yang disebabkan oleh efek termal dan tekanan. Efek termal menyebabkan terjadinya ekspansi pada pipa. Ekspansi pipa berpengaruh terhadap fleksibilitas dan tegangan pipa sehingga perlu didesain *expansion loop*. Tegangan yang terjadi melebihi tegangan yang diijinkan *code* maka bisa terjadi deformasi pipa atau kegagalan sistem perpipaan (Mahardhika, Julianto, Indartono, & Kusuma, 2018). Tegangan pada desain suatu sistem perpipaan harus dirancang agar mampu menahan beban yang terjadi (Hasan, Santoso, & Mahardhika, 2017). *Expansion loop* merupakan suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas pada jalur perpipaan. *Expansion loop* memiliki 3 jenis yaitu *horizontal expansion loop*, *vertical expansion loop*, dan *3 dimensional expansion loop*. Desain *expansion loop* yang dioptimalkan secara signifikan akan menghemat jumlah material dan jumlah *support* yang digunakan dalam sistem perpipaan (Shehadeh, Ranganathan, & Abed, 2016). Walaupun lebih hemat tetapi desain *expansion loop* perlu diperhatikan jumlah *support*/penopang pipa karena juga berpengaruh terhadap tegangan pipa. Sehingga penentuan *maximum allowable pipe span* antara penyangga sangatlah penting karena mempertimbangkan keselamatan serta biaya (Vakharia & Farooq, 2009). *Support* berfungsi untuk menumpu berat dari sistem perpipaan (Mahardhika, 2017). Kadang di industri untuk mengatasi sistem perpipaan yang tidak fleksibel menggunakan *expansion joint*. Tetapi harga *expansion joint* termasuk mahal dibandingkan *expansion loop* pada jalur pipa. Jenis *expansion loop* di industri yang sering digunakan adalah *symmetrical expansion loop*. Pada artikel ini direncanakan juga *non symmetrical* karena area di dekat pipa bisa saja memiliki ruang yang berbeda beda dan belum tentu ruangnya cukup untuk jenis *symmetrical* sehingga harus diketahui seberapa signifikan perbedaan nilai fleksibilitas dan tegangan pipanya dari keduanya.



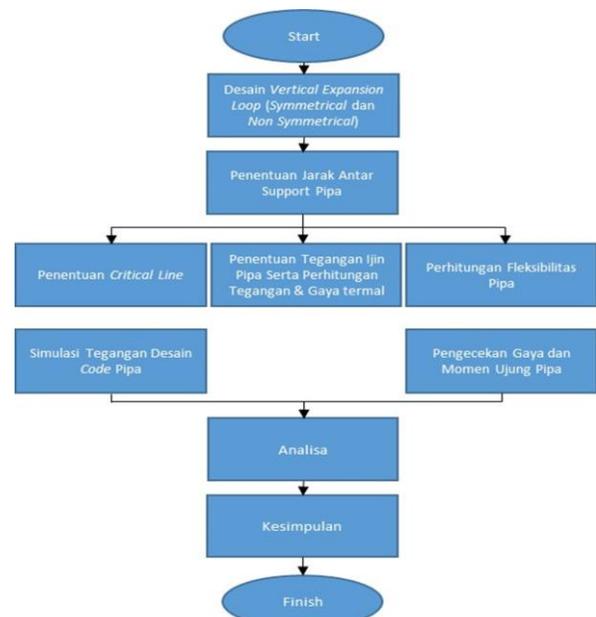
Gambar 1. Vertical Expansion Loop

Artikel ini bertujuan mempelajari *symmetrical* dan *nonsymmetrical* pada *vertical expansion loop* apakah dapat meningkatkan fleksibilitas dan menurunkan tegangan pipa. Acuan desain menggunakan *code* perpipaan proses ASME B31.3. Visualisasi *vertical expansion loop* dapat dilihat pada Gambar 1.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan 3 *trial vertical expansion loop* yaitu *trial 1 (Vertical Expansion Loop Symmetrical)*, *trial 2 (Vertical Expansion Loop Nonsymmetrical 1)*, dan *trial 3 (Vertical Expansion Loop Nonsymmetrical 2)*. Dari ketiga *trial* tersebut ditentukan jarak antar *support* (untuk penempatan *support*). Pada jalur pipa yang diidentifikasi dilakukan penentuan kriteria *critical line* pipa apakah termasuk jalur *critical* atau *non critical*. Dari hasil 3 *trial* dihitung manual tegangan & gaya termal yang terjadi pada pipa serta simulasi tegangan pipa *code* menggunakan *software Bentley Autopipe* apakah tegangan *code* desain yang terjadi masih memenuhi persyaratan menurut ASME B31.3. Untuk perhitungan fleksibilitas pipa menggunakan metode *simplified flex analysis* akan menunjukkan apakah jalur pipa tersebut fleksibel atau non fleksibel untuk menerima beban yang terjadi pada pipa. Yang terakhir adalah melakukan pengecekan arah gaya dan momen pada ujung pipa masing-masing *trial* menggunakan *software Bentley Autopipe*. Gambar 2 menunjukkan diagram alir pada penelitian ini.

Pada tahap simulasi tegangan pipa menggunakan *software Autopipe*. Nilai tegangan yang sudah disimulasikan kemudian disesuaikan dengan



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

kriteria penerimaan menurut ASME B31.3 Perpipaan Proses. Kriteria penerimaan merupakan acuan yang digunakan untuk memastikan keselamatan dan keamanan sistem perpipaan telah sesuai dengan peraturan yang berlaku untuk suatu desain sistem. Dari hasil semua tahapan di atas akan dianalisis apakah *symmetrical* dan *nonsymmetrical* pada *vertical expansion loop* dapat meningkatkan fleksibilitas dan menurunkan tegangan pipa. Data desain pada penelitian ini ditunjukkan tercantum Tabel 1 dan Tabel 2.

2.1 Expansion Loop

Expansion loop adalah suatu metoda yang digunakan pada desain sistem perpipaan yang intinya mengurangi tegangan akibat pemuaihan dan penyusutan pipa (Migas Indonesia Online, 2010). Ekspansi termal akan terjadi di antara titik tetap (*fixed points*) di sistem perpipaan. Jika sistem perpipaan memiliki kesamaan ketinggian *expansion loop*, titik tetap alami akan terjadi di tengah jalur pipa antara 2 *expansion elbow*.

Petunjuk untuk desain *expansion loop* yaitu *expansion loop* biasanya diletakkan di jalur yang memiliki temperatur tinggi, *expansion loop* harus diletakkan di tengah jarak antara 2 *anchor*, dan *expansion loop* biasanya memiliki tinggi 2 kali dari lebarnya ($H=2.W$). Persamaan untuk menentukan *loop length minimum* yaitu (Stewart, 2016):

$$L2 = \sqrt{\frac{3.E.D.\Delta}{144.SA}} \tag{1}$$

$$L2 = W + 2.H \tag{2}$$

$$H \text{ minimum} = 0,02.\sqrt{D.L.\Delta T} \tag{3}$$

$$W \text{ minimum} = 0,5.H \tag{4}$$

$$L \text{ maximum} = \frac{2500.(H)^2}{D.\Delta T} \tag{5}$$

Di mana L adalah jarak antar *anchor* (ft); L1 adalah jarak antar *guide support* (ft); L2 adalah *loop length minimum* untuk menyerap ekspansi (ft); E adalah modulus elastisitas (psi); D adalah *Outside Diameter* (in); Δ adalah ekspansi yang diserap *loop* (in); SA adalah *Code Allowable Stress Range* (psi); dan ΔT adalah perbedaan temperatur (F).

2.2 Maximum Allowable Pipe Span

Maximum allowable pipe span yang diijinkan

Tabel 1. Spesifikasi Pipa

Data	Spesifikasi
Material	A106 Gr.B
NPS	6
Sch	40
t (in)	0,28
OD (in)	6,625
ID (in)	6,065
ρ pipa (lb/in ³)	0,283
Modulus Elastisitas (psi)	$27,7 \times 10^6$
<i>Thermal coefficient</i> (in/ft)	0,0114
Koefisien ekspansi termal (in/in.F)	$6,7 \times 10^{-6}$
Panjang pipa (ft)	200

untuk sistem perpipaan horisontal dibatasi 3 faktor utama yaitu tegangan tekuk, defleksi vertikal, dan frekuensi alami. Persamaan untuk perhitungan *maximum allowable pipe span* horisontal diasumsikan ujung pipa menggunakan *fixed/clamp support* yaitu berdasarkan batasan tegangan menggunakan Persamaan 6.

$$Ls = \frac{\sqrt{0,4.Z.S}}{w} \tag{6}$$

Berdasarkan batasan defleksi, menggunakan Persamaan 7.

$$Ls = \frac{\sqrt[4]{\Delta.E.I}}{13,5.w} \tag{7}$$

Di mana Ls adalah *maximum allowable pipe span* (ft); S adalah tegangan yang diijinkan (psi); Z adalah *section modulus* pipa (in³); w adalah berat total pipa per satuan panjang (lb/ft); Δ adalah defleksi yang diijinkan (in); I adalah momen inersia pada bentangan pipa (in⁴); dan E adalah modulus elastisitas pada temperatur desain (psi).

2.3 Kriteria Critical Line

Kriteria *critical line* merupakan fungsi temperatur dan diameter pipa yang ditunjukkan pada gambar 3 (Chamsudi, 2005). Kriteria *critical line* dibedakan menjadi 2 jenis yaitu *critical piping* dan *non critical piping*. *Critical Piping* adalah jalur perpipaan atau *line number* pipa yang harus dipertimbangkan dalam analisis tegangan karena temperatur fluida di dalam pipa memenuhi ketetapan kriteria. *Non critical piping* adalah semua jalur perpipaan yang tidak dipertimbangkan dalam analisis tegangan pipa karena temperatur fluida di dalam pipa tidak memenuhi ketetapan kriteria. Kriteria *critical line* ada yang terhubung dengan *non rotating equipment/static equipment* dan terhubung dengan *rotating equipment*. Gambar 3 merupakan jalur perpipaan yang terhubung dengan *nozzle static equipment* sesuai penelitian ini.

Hasil penentuan *critical line* berdasarkan temperatur dan NPS nantinya akan dikategorikan menjadi 3 kriteria yaitu A, B, dan C. Kriteria A yaitu tidak perlu dianalisis lanjut. Kriteria B yaitu harus dikoreksi dengan metode sederhana. Kriteria C yaitu detail analisis harus disimulasi dengan bantuan komputer.

2.4 Thermal expansion – stress & force

Persamaan 8 sampai 11 digunakan untuk menghitung ekspansi termal/ekspansi pipa, gaya termal, tegangan termal, dan tegangan tekuk (Kannappan, 1986).

Tabel 2. Data Sifat Fluida

Data	Nilai	Satuan
Jenis Fluida	<i>Steam</i>	
ρ fluida	$2,3 \times 10^{-5}$	lb/in ³
Tekanan Desain (P)	15,95	psi
Temperatur Desain (T)	216	F

Ekspansi Termal

$$\Delta L = C. L. (T_f - T_g). 12 \text{ in/ft} \quad (8)$$

Gaya Termal

$$F = E. \alpha. A \quad (9)$$

Tegangan Termal

$$\sigma_{dt} = E. C. \Delta T \quad (10)$$

Tegangan Tekuk

$$S_b = 1,2(w. \frac{Ls^2}{Z}) \quad (11)$$

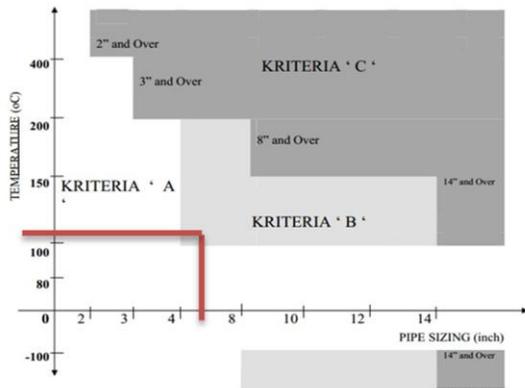
Di mana ΔL adalah ekspansi termal (in); C adalah koefisien ekspansi termal (in/in.F); L adalah panjang pipa (ft); ΔT adalah perbedaan temperatur (F); F adalah Gaya Termal (lb); E adalah modulus elastisitas (psi); α adalah *linier thermal expansion* (in/100ft); A adalah luas permukaan pipa (in²); T_f adalah temperatur desain/operasi (F); dan T_g adalah temperatur awal (F).

2.5 Fleksibilitas Pipa

Metode pendekatan ini digunakan untuk mengecek fleksibilitas sistem perpipaan/jalur perpipaan. Metode pendekatan ini mempertimbangan kekuatan, reaksi bahaya dan *service hazard*, dan beberapa pendapat sehingga dibentuklah batas ukuran pipa, tekanan, dan temperatur. Pendekatan sistem perpipaan yang dibutuhkan untuk dianalisis fleksibilitasnya dengan kondisi maksimum nominal temperatur operasi material melebihi 800 F, *service pressure* melebihi 15 psi, dan *Nominal Pipe Size* melebihi 6 inch (Kellogg, 1956). Jika nilai fleksibilitas sesuai dengan persamaan 12 maka jalur pipa fleksibel dan tidak perlu *formal analysis* (Kannapan, 1986)

$$\frac{D.y}{(L-U)^2} \leq \frac{30.S_A}{E_a} \quad (12)$$

Di mana D adalah *Nominal Pipe Size* (inch); Δ adalah *resultant total displacement* (inch); L adalah *developed length* di antara *anchor* (ft); U adalah jarak antar *anchor* (ft); S_A adalah *code allowable stress range* (psi); dan E_a



Gambar 3. Kriteria Critical line untuk pipa yang terhubung dengan *nozzle static equipment* (Chamsudi, 2005)

adalah modulus elastisitas pada kondisi dingin (psi).

Batasan persamaan 12 adalah pipa harus memiliki ukuran diameter yang sama dan tidak memiliki lebih dari 2 titik tetap (The American Society of Mechanical Engineers, 2016). Tabel 3 merupakan *stress range reduction factors* berkaitan dengan jumlah siklus suatu sistem perpipaan.

2.6 Tegangan Yang Diiijinkan

Untuk menentukan besar batasan tegangan (SH) dapat juga memilih nilai yang terkecil dari satu pertiga (1/3) dari *specified minimum tensile strength* (SMTS) atau dua pertiga (2/3) dari *specified minimum yield strength* (SMYS). Data SH, SMTS, dan SMYS sudah ada di ASME B31.3 yang digunakan untuk menentukan besaran tersebut. Persamaan 13 digunakan untuk menentukan *Code allowable stress range*.

$$SA = f. (1,25.SC + 0,25.SH) \quad (13)$$

Di mana SC merupakan tegangan yang diijinkan saat sistem perpipaan tidak beroperasi (psi); SH merupakan tegangan yang diijinkan saat sistem perpipaan beroperasi (psi); f merupakan *stress range factor* (Lihat Tabel 3).

3. Hasil dan Pembahasan

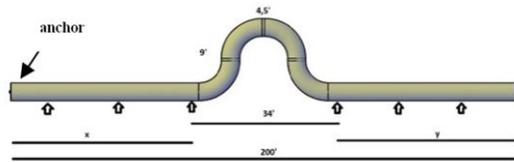
Pada tahap pertama melakukan perhitungan untuk mendapatkan desain *vertical expansion loop*. Desain *vertical expansion loop* menggunakan persamaan 1 sampai 5 dan persamaan 8. Perhitungan menggunakan persamaan 8 untuk mendapatkan nilai ekspansi termal. Berdasarkan perhitungan ekspansi termal (ΔL) didapatkan nilai sebesar 2,34 in. Perhitungan menggunakan persamaan 1 sampai 5 untuk mendapatkan nilai *loop length minimum* (L2). Hasil perhitungan didapatkan nilai *Loop length minimum* (L2) untuk menyerap ekspansi termal yaitu sebesar 22,5 ft.

Tabel 3. *Stress Range Reduction Factors*

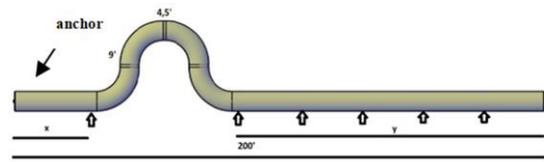
<i>Number of equivalent full temperatur cycles N</i>	f
7000 dan di bawahnya	1,0
7000 - 14000	0,9
14000 – 22000	0,8
22000 – 45000	0,7
45000 – 100000	0,6
100000 dan di atasnya	0,5

Tabel 4. *Trial desain vertical expansion loop (ft)*

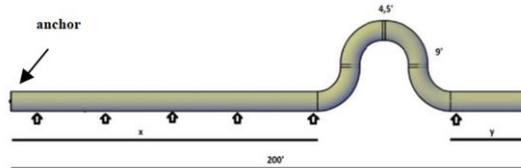
	L	L1	L2	H	W	x	y
<i>Trial 1</i>	200	34	22,5	9	4,5	83	83
<i>Trial 2</i>	200	34	22,5	9	4,5	41,5	124,5
<i>Trial 3</i>	200	34	22,5	9	4,5	124,5	41,5



Gambar 4. Desain *Vertical Expansion Loop Symmetrical (Trial 1)*



Gambar 5. Desain *Vertical Expansion Loop Nonsymmetrical 1 (Trial 2)*



Gambar 6. Desain *Vertical Expansion Loop Nonsymmetrical 2 (Trial 3)*

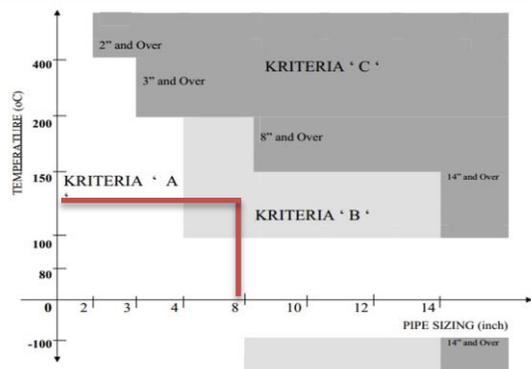
Pada tahap kedua melakukan perhitungan *maximum allowable pipe span* untuk mendapatkan jarak antar *support* dan jumlah *support*. Perhitungan *maximum allowable pipe span* menggunakan persamaan 6 dan 7 untuk mendapatkan nilai *maximum allowable pipe span* berdasarkan batasan tegangan dan batasan defleksi. Hasil perhitungan didapatkan nilai *maximum allowable pipe span* berdasarkan batasan tegangan sebesar 58,9 ft dan nilai *maximum allowable pipe span* berdasarkan batasan defleksi sebesar 41,77 ft. *Maximum allowable pipe span* yang dipilih adalah nilai yang paling kecil yaitu 41,77 ft. *Ls* yang digunakan tidak boleh lebih dari itu sehingga memakai *Ls* sebesar 34 ft (memenuhi). Dari nilai *Ls* tersebut didapatkan jumlah *support* yang digunakan yaitu 6 buah.

Pada Tabel 4 menunjukkan dimensi desain *vertical expansion loop*. Desain *expansion loop* ada 3 *trial* yaitu *trial 1* (Desain *Vertical Expansion Loop Symmetrical*), *trial 2* (Desain *Vertical Expansion Loop Nonsymmetrical 1*), dan *trial 3* (Desain *Vertical Expansion Loop Nonsymmetrical 2*). Pada *trial 1* untuk *expansion loop* diletakkan pada *center* sepanjang *line* pipa dengan panjang sama *x* 83 ft dan *y* 83 ft. Pada *trial 2* untuk *expansion loop* diletakkan pada kiri sepanjang *line* pipa dengan panjang *x* 41,5 ft dan *y* 124,5 ft. Pada *trial 3* untuk *expansion loop* diletakkan pada kanan sepanjang *line* pipa dengan panjang *x* 124,5 ft dan *y* 41,5 ft. Visualisasi dimensi *trial vertical expansion loop* tersebut ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Pada *trial* desain *expansion loop* yang terdapat perbedaan mendasar pada letak *expansion loop* serta jarak *x* dan *y* terhadap ujung-ujung pipa. Sehingga dari *trial* desain ini akan dilakukan studi mana yang memiliki nilai tegangan yang paling baik dan memenuhi kriteria code ASME B31.3.

Pada tahap ketiga melakukan penentuan *critical*

line list pada jalur perpipaan yang didesain adanya *vertical expansion loop*. Kriteria *critical line* untuk spesifikasi pipa NPS 6” pada tabel 1 dan temperatur fluida 216 F pada tabel 2. Kemudian data tersebut dihubungkan dengan gambar 3, maka pipa A106 Gr.B NPS 6” dan temperatur fluida 216 F (102 C) tersebut termasuk *critical line*. Pipa tersebut dikategorikan kriteria B yang artinya harus dikoreksi dengan metode sederhana. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 7 hasil penentuan *critical line*.

Pada tahap keempat melakukan penentuan tegangan ijin pipa menggunakan persamaan 13. Hasil perhitungan didapatkan nilai tegangan ijin *code SH* maupun *SC* adalah 20000 psi dan tegangan ijin (*SA*) *code allowable stress range* adalah 30000 psi. Setelah didapatkan nilai tersebut kemudian melakukan perhitungan untuk gaya termal, tegangan termal, dan tegangan tekuk menggunakan persamaan 9 sampai 11. Hasil perhitungan menggunakan persamaan tersebut didapatkan nilai gaya termal (*F*) adalah 146837,7 lb, tegangan termal (σ_{dt}) 27096,14 psi, dan tegangan



Gambar 7. Hasil Penentuan *Critical Line*

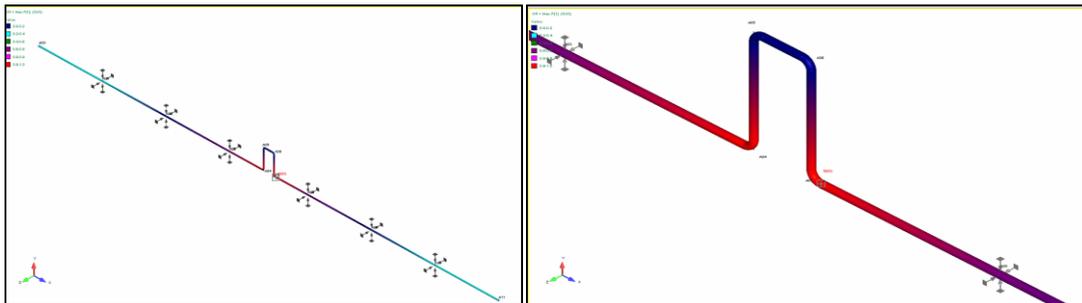
tekuknya (Sb) 2911,18 psi. Nilai tegangan termal dan tegangan tersebut dicek kriteria penerimaannya menurut tegangan ijin dan *code allowable stress range*.

Dari hasil perhitungan manual tegangan termal dan tegangan tekuk yang ditampilkan pada tabel 5 dan tabel 6 dapat disimpulkan bahwa tegangan termal dan tegangan tekuk masih di bawah tegangan yang diijinkan sehingga dinyatakan masih diterima menurut persyaratan ASME B31.3.

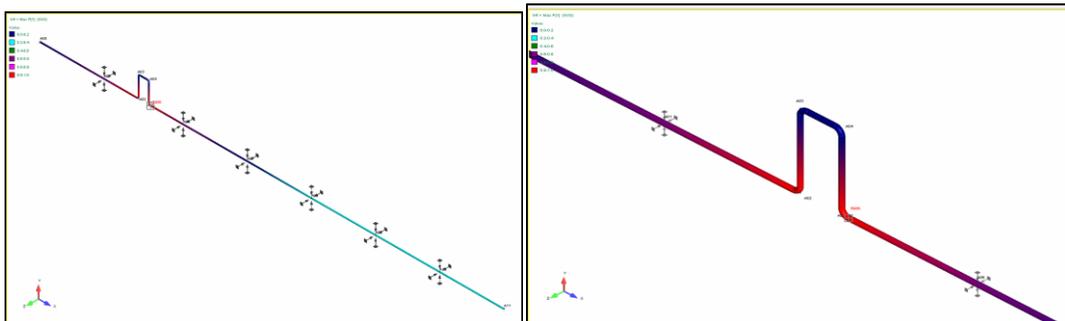
Pada tahap kelima melakukan perhitungan fleksibilitas pipa menggunakan metode *simplified flex analysis*. Perhitungan fleksibilitas pipa menggunakan persamaan 12. Perhitungan ini digunakan sama untuk semua *trial* yaitu *trial 1*, *trial 2*, dan *trial 3* menurut ASME B31.3 karena memiliki panjang pipa dan arah aliran yang sama. Hasil perhitungan didapatkan nilai fleksibilitas pada jalur perpipaan pada *trial 1*, *trial 2*, dan *trial 3* lebih kecil (0,00016) dari pada nilai yang

dijinkan (0,033) sehingga dapat disimpulkan bahwa jalur perpipaan tersebut memiliki fleksibilitas yang baik untuk menerima ekspansi termal. Jalur perpipaan harus fleksibel karena suatu desain jika nanti sudah beroperasi pasti akan ada perbedaan temperatur sehingga bisa mengakibatkan ekspansi atau penyusutan pipa.

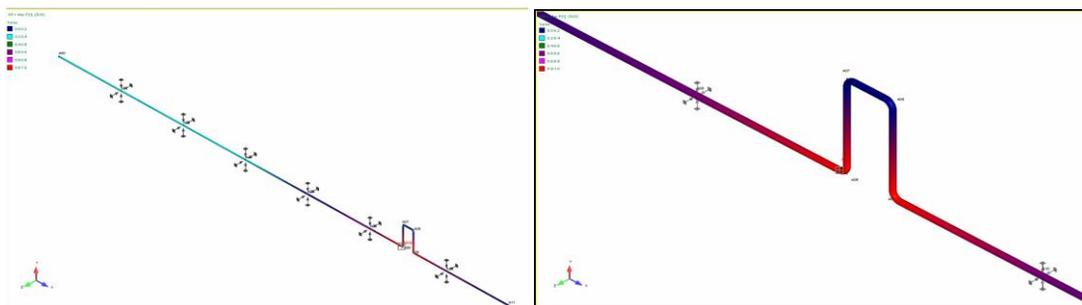
Pada tahap keenam melakukan simulasi tegangan pipa menggunakan *software* *autopipe*. Simulasi dilakukan pada desain *trial 1*, *trial 2*, dan *trial 3*. Parameter yang digunakan dalam proses simulasi meliputi material pipa, NPS, *Schedule*, sifat mekanik material, densitas/ *specific gravity* fluida, temperatur, dan tekanan. Kode *load combination* yang digunakan dalam simulasi ini adalah *Load Case 1* (Gr + Max P). Hasil simulasi tegangan pipa divisualisasikan pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10. Serta hasil simulasi dijabarkan pada grafik Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13. Nilai tegangan paling tinggi pada



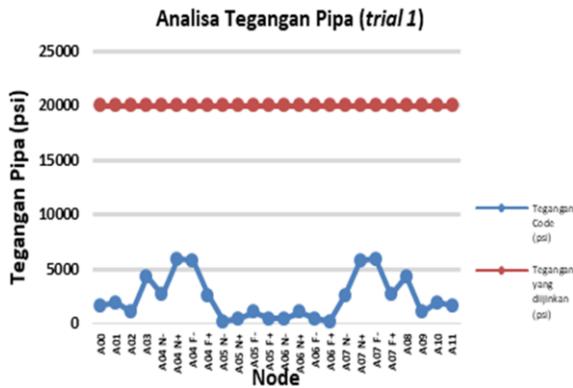
Gambar 8. Simulasi *Vertical Expansion Loop Symmetrical (Trial 1)*



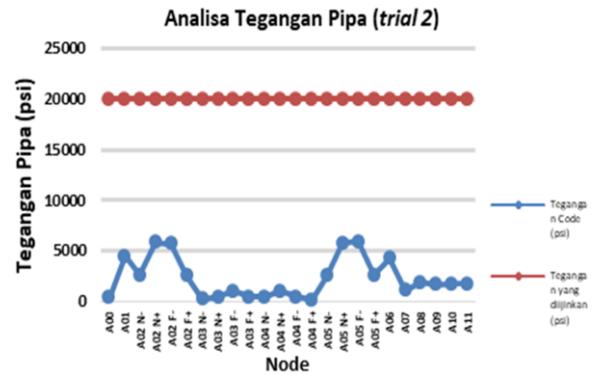
Gambar 9. Simulasi *Vertical Expansion Loop Nonsymmetrical 1 (Trial 2)*



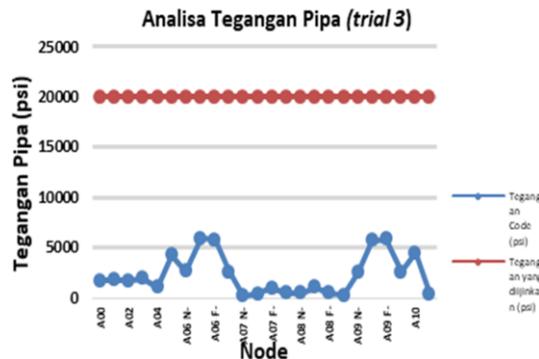
Gambar 10. Simulasi *Vertical Expansion Loop Nonsymmetrical 2 (Trial 3)*



Gambar 11. Nilai tegangan desain *code* dibandingkan dengan tegangan yang diijinkan (*Trial 1*)



Gambar 12. Nilai tegangan desain *code* dibandingkan dengan tegangan yang diijinkan (*Trial 2*)



Gambar 13. Nilai tegangan *code* desain dibandingkan dengan tegangan yang diijinkan (*Trial 3*)

trial 1 di *node* A04 N- dan A07 F- yaitu 5966 psi yang terletak pada kedua kaki *elbow expansion loop*. Nilai tegangan paling tinggi pada *trial 2* di *node* A05 F- yaitu 5903 psi yang terletak pada salah satu kaki *elbow expansion loop* tetapi kaki *elbow* satunya pada *node* A02 N+ memiliki nilai tegangan hampir sama yaitu 58921 psi. Nilai tegangan paling tinggi pada *trial 3* di *node* A06 N+ yaitu 5903 psi yang terletak pada salah satu kaki *elbow expansion loop* tetapi kaki *elbow* satunya pada *node* A09 F- juga memiliki nilai tegangan hampir sama yaitu 5821 psi. Disimpulkan bahwa pada bagian kaki *elbow expansion loop* memiliki tegangan paling tinggi karena terjadi pemusatan tegangan akibat ekspansi termal sehingga pada kaki *elbow* tersebut terjadi pemuaiian. Menurut ASME B31.3 yang didapatkan dari data material dan temperatur maka pipa yang memiliki desain *Vertical Expansion Loop Symmetrical* maupun *Vertical Expansion Loop Nonsymmetrical* sama-sama memiliki batasan nilai tegangan ijin yaitu 20000 psi. Hasil simulasi pemodelan menunjukkan bahwa nilai tegangan desain *code* pipa pada *trial 1*, *trial 2*, dan *trial 3* sama-sama masih di bawah tegangan yang diijinkan yaitu 20000 psi. Nilai

tegangan yang diijinkan tersebut digunakan untuk acuan dalam hal menyatakan apakah tegangan desain tersebut masih dalam kondisi aman. Desain pada kondisi *symmetrical* maupun *nonsymmetrical* dinyatakan sama-sama memenuhi syarat (aman) karena memiliki nilai tegangan desain *code* tidak melebihi nilai batas tegangan ijin.

Pada tahap ketujuh melakukan pengecekan gaya dan momen ujung-ujung pipa pada desain *trial 1*, *trial 2*, dan *trial 3*. Hal ini bertujuan untuk mengecek arah gaya dan momen yang terjadi dari masing-masing *trial*. Hasil pengecekan gaya dan momen melalui simulasi *software* Bentley Autopipe dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 menunjukkan bahwa nilai gaya dan momen di ujung pipa pada desain *symmetrical vertical expansion loop* memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan kedua desain *nonsymmetrical vertical expansion loop*. Hal tersebut terjadi karena *symmetrical vertical expansion loop* dipengaruhi ekspansi termal yang terpusat di tengah pipa dan kaki-kaki *elbow expansion loop*. Walaupun begitu ketiganya tidak memiliki perbedaan nilai gaya dan momen yang jauh.

Tabel 7. Gaya dan Momen pada ujung pipa

Trial	Ujung pipa	Gaya (lb)			Momen (ft-lb)		
		x	y	z	x	y	z
1	out	261	254	0	0	0	1134
	in	261	-254	0	0	0	1134
2	out	256	157	0	0	0	243
	in	256	-261	0	0	0	1199
3	out	256	261	0	0	0	1199
	in	256	-157	0	0	0	243

4. Kesimpulan

Hasil penelitian dengan menggunakan trial 1, trial 2, dan trial 3 bisa disimpulkan bahwa *symmetrical* dan *nonsymmetrical vertical expansion loop* sama-sama memiliki nilai tegangan *code* desain di bawah tegangan ijin pipa menurut ASME B31.3 (20000 psi). Nilai tegangan *code* desain setiap trial hasilnya tidak memiliki perbedaan nilai yang jauh. *Symmetrical* dan *nonsymmetrical* pada *vertical expansion loop* semuanya memiliki fleksibilitas (0,00016) yang lebih rendah dari pada persyaratan ASME B31.3 (0,033). Dapat disimpulkan bahwa desain *symmetrical* atau *nonsymmetrical* pada *vertical expansion loop* sama-sama meningkatkan fleksibilitas pipa dan menurunkan nilai tegangan yang terjadi pada pipa. Sehingga *non symmetrical* bisa dijadikan alternatif untuk dapat diterapkan pada jalur perpipaan yang tidak memiliki ruang yang cukup untuk dibuat yang *symmetrical*.

Daftar Pustaka

The American Society of Mechanical Engineers (2016). *ASME B31.3: Process Piping, ASME Code for Pressure Piping*. USA: The American Society of Mechanical Engineers, USA

Chamsudi, A. (2005). *Diktat-Piping Stress Analysis*. Diakses dari <https://www.scribd.com/document/259036537/Di%0Aktat-Pipe-Stress-Analysis>, tanggal 8 Januari 2020.

Hasan, M., Santoso, E., Mahardhika, P. (2017). Desain

Expansion Loop Pada Line 116sv203-150-16h20 Fatty Acid Destilation PT. Wilmar Nabati Indonesia. *Proceedings Conference on Piping Engineering and its Application*. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 31–36.

Kannappan, S. (1986). *Introduction to Pipe Stress Analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Kellogg, M. W. (1956). *Design of Piping Systems* (2nd ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Mahardhika, P. (2017). Penentuan Allowable Span Antar Penyangga Pipa SLF Berdasarkan Tegangan, Defleksi, Frekuensi Alami. *Jurnal Iptek*, 21(2), 27–34. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2017.v21i2.149>

Mahardhika, P., Julianto, E., Indartono, A., Kusuma, G. E. (2018). Analisis Pengaruh Kenaikan Tekanan Fluida Terhadap Tegangan Dan Fleksibilitas Pipa Blowdown A106 Grade A Berdasarkan ASME B31.3. *TEKNIK*, 39(1), 67–72. <https://doi.org/10.14710/teknik.v39i1.17118>

Migas Indonesia Online. (2010). Rangkuman Diskusi Fungsi konfigurasi pipa expansion loop. Diakses dari <http://migas-indonesia.com/2010/05/11/rangkuman-diskusifungsi-konfigurasi-pipa-expansion-loop/>, tanggal 4 Januari 2020.

Shehadeh, B., Ranganathan, S. I., Abed, F. H. (2016). Optimization of piping expansion loops using ASME B31.3. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 230(1), 56–64. <https://doi.org/10.1177/0954408914532808>

Stewart, M. (2016). *Surface Production Operations: Volume III: Facility Piping and Pipeline Systems*. Texas: Gulf Professional Publishing. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-20127-9>

Vakharia, D. P., Farooq, M. (2009). Determination of maximum span between pipe supports using maximum bending stress theory. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(6), 46–49.