

Analisis Tegangan Jalur Perpipaan dari *Knock out Drum* Menuju Gas Flare

Satrio Agung Prakoso^{1*}, Pekik Mahardhika, S.ST.,M.T.^{2*}, Dr. Priyo Agus S. ST., MT.,^{3*}

D4-Teknik Perpipaan, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*2*3}

Email: satrioagung@student.ppns.ac.id^{1*}; pekikmahardhika@ppns.ac.id^{2*}; privoagus@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - The purpose of channeling gas from the Knock Out Drum to the Flare is to burn the gas before releasing it into the environment, requiring careful pipe design. Nozzle analysis at the Flare Inlet was conducted based on operational and sustain conditions using pipe stress analysis software. The pipe from the Knock Out Drum Outlet to the Flare Inlet has a diameter of 26 inches, a design pressure of 3.5 kg/cm²G, and a design temperature of 320°C. The initial design, which included a Z loop before the flare inlet nozzle, exceeded the allowable nozzle loads, necessitating further analysis. One option to reduce stress below the allowable nozzle load was adding a horizontal loop with a minimum length of 15.5 meters and a width of 8 meters, chosen for distance efficiency around the flare. The stress values with the horizontal loop addition under sustain load were 2414.2 psi with a ratio of 13.6%, the highest occasional load due to wind was 12,259 psi with a ratio of 51.8%, the highest occasional load due to an earthquake was 13,847.8 psi with a ratio of 58.5%, and the thermal expansion load was 40,971 psi with a ratio of 89.9%. The nozzle inlet flare load values met the allowable limits, with resultant forces and moments on the F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, and M_z axes.

Keyword: Gas Falre, Nozzle load, Horizontal Loop, Stress Anlylisis,

Nomenclature

Nomenclature menyatakan simbol dan keterangan yang kita tampilkan dalam paper

OD	Outside Diameter
ID	Inside Diameter
L _s	Limitation Of Stress (ft)
L _d	Limitation Of Deflection (ft)
ρ	Massa Jenis (lb/in ³)
t	Temperature (F)
P	Tekanan (psi)

1. PENDAHULUAN

Line pipe dari Knock Out Drum menuju Flare merupakan proses penyaluran fluida gas yang akan dibakar pada flare sebelum dibuang ke lingkungan sehingga desain line perancangan harus diperhitungkan. Analisa nozzle pada Inlet Flare menggunakan analisa pada kondisi operasi dan sustain. Pada analisa nozzle ini juga bergantung pada perancangan line Knock Out Drum menggunakan bantuan *software pipe stress analysis*. Line Pipe dari Outlet Knock Out Drum menuju inlet Flare berdiameter 26 inch dan fluida yang dialirkan flare gas, dengan design pressure sebesar 3,5 kg/cm²G, design temperature sebesar 320 °C. Berdasarkan diameter dan suhu, jalur pipa ini dapat dikategorikan sebagai jalur kritis menurut. Pada kondisi lapangan ternyata desain awal yang terdapat Z bend sebelum nozzle inlet Flare tersebut masih melebihi Allowable

Nozzle Load. Sehingga perlu analisis lebih lanjut untuk memenuhi Allowable Nozzle Load, Adapun opsi yang dapat digunakan untuk memperoleh nilai tegangan dibawah Allowable Nozzle Load yaitu dengan penambahan Loop Horizontal. Hal tersebut dipilih atas pertimbangan efisiensi jarak di area sekitar flare. Adapun faktor lain yang harus diperhatikan adalah pemilihan jenis support yang ditempatkan dekat expansion loop. Analisis tegangan pada line number tersebut dengan mengacu code dan standard yang digunakan yaitu ASME B31.3 (Process Piping).

2. METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan penambahan *horizontal expansion loop* pada jalur perpipaan dari *knock out drum* menuju *gas flare*. Dari penambahan *horizontal expansion loop* ditentukan jarak antara *support* (untuk penempatan support). Dari desan penambahan *horizontal expansion loop* di lakukan analisis tegangan menggunakan *software pipe stress analysis* apakah tegangan *code* desain yang terjadi masih memenuhi persyaratan menurut ASME B31.3. Terakhir seteah melakukan analisis menggunakan *software* dilakukan analisis beban nozzle apakah dengan perubahan desain dengan penambahan *horizontal expansion loop* desain tersebut bisa memenuhi beban nozzle yang telah di tetapkan sesuai dengan vendor

equipment pada *general arrangement* yang telah tersedia.

Pada tahap simulasi tegangan pipa menggunakan *software pipe stress analysis*. Nilai tegangan yang sudah disimulasikan kemudian disesuaikan dengan 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 penambahan *horizontal expansion loop* dapat mengatasi beban nozzle pada sistem perpipaan jalur dari *knock out drum* menuju *gas flare*. Data desain pada penelitian ini ditunjukkan tercantum Tabel 1 dan Tabel 2

Table 1 Spesifikasi Pipa

Data	Spesifikasi
Material	ASTM A106 Gr B
NPS	26
Sch	STD
t (in)	0.375
OD (in)	26
ID (in)	25.234
ρ pipa (lb/in ³)	0.284
Modulus Elastisitas (psi)	26420000
Tebal insulasi (in)	3.93
ρ insulasi (lb/in ³)	0.00361

Table 2 Data Sifat Fluida

Data	Nilai	Satuan
Jenis Fluida	Gas	
Temperatur Desain (T)	608	F
Tekanan Desain (P)	507,632	psi
ρ fluida	0.0004	lb/in ³

2.1 Kriteria Critical Line

Kriteria critical line merupakan fungsi temperatur dan diameter pipa yang ditunjukkan pada gambar. 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 ketentuan kriteria. Non critical piping adalah semua jalur perpipaan yang tidak dipertimbangkan dalam analisis tegangan pipa karena temperatur fluida di dalam pipa tidak memenuhi ketentuan 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 disimulasikan dengan bantuan komputer.

2.2. Expansion Loop

Expansion loop adalah metode alternatif yang digunakan untuk mengurangi ekspansi akibat thermal yang disebabkan karena perbedaan temperatur fluida dan temperatur lingkungan. Pipa harus memiliki dimensi loop yang cukup untuk mengatasi masalah tersebut (Hariono, 2014). Expansion loop memiliki lekukan arah tegak lurus untuk menyerap ekspansi termal yang terjadi.

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*:

$$L_{\text{minimum}} = 0,02\sqrt{D \times L \times \Delta T} \quad (1)$$

$$W_{\text{Minimum}} = 0,5L \quad (2)$$

$$L_2 = W + 2L \quad (3)$$

Di mana L adalah jarak antar anchor (ft); L_{minimum} adalah panjang minimum loop untuk menyerap ekspansi (ft); W_{Minimum} adalah jarak minimum lebar loop untuk menyerap ekspansi (ft); D adalah Outside Diameter (in); dan ΔT adalah perbedaan temperatur (F); L_2 adalah panjang total loop untuk menyerap ekspansi (ft).

2.3. Maximum Allowable Pipe Span

Perhitungan *Maximum Allowable Pipe Span* dilakukan untuk mengetahui jarak maksimal antar penyangga. Persamaan untuk perhitungan *maximum allowable pipe span* horisontal diasumsikan ujung pipa menggunakan *fixed/clamp support* yaitu berdasarkan batasan tegangan. Berikut merupakan perhitungan *maximum allowable pipe span* berdasarkan *limitation of stress* dan *limitation of deflection*.

$$L_s = \sqrt{\frac{0,4ZS_h}{W}} \quad (4)$$

$$L_d = \sqrt[4]{\frac{\Delta EI}{13,5W}} \quad (5)$$

Di mana L_s 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).

2.4 Permodelan pada Software Stress Analisis

Software stress analysis adalah sebuah software perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan perhitungan analisa tegangan pada sistem perpipaan. Pembebanan yang dilakukan pada penelitian ini adalah *sustained load*, *expansion load*, dan *occasional load*.

2.4.1 Pembebanan pada Software Analisis Tegangan

Software analisis tegangan terhadap beban menghitung beban pada sistem perpipaan. Ini juga dikenal sebagai load case. Semua beban yang terjadi tersebut akan dievaluasi baik secara individu maupun secara kombinasi.

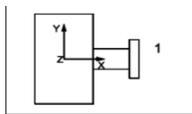
Table 3 Load case pada software analisis tegangan

Load Case	Definition	Load Combination
L1	Design Temp. Case	W+T1+P1
L2	Sustained Case	W+P1
L3	Wind Case +X Direction	W+P1+WIN1
L4	Wind Case -X Direction	W+P1+WIN2
L5	Wind Case +Z Direction	W+P1+WIN3
L6	Wind Case -Z Direction	W+P1+WIN4
L7	Seismic Case +X Direction	W+P1+U1
L8	Seismic Case -X Direction	W+P1-U1
L9	Seismic Case +Z Direction	W+P1+U2
L10	Seismic Case -Z Direction	W+P1-U2
L11	Expansion	L1-L2

2.5. Evaluasi Beban Nozzle

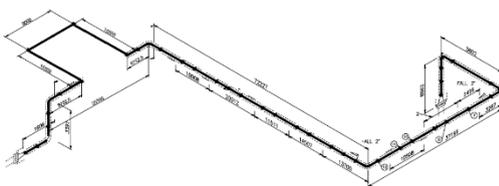
Beban sebenarnya (aktual) yang terjadi pada nozzle berdasarkan hasil analisa suatu sistem perpipaan dapat dikatakan aman apabila beban tersebut dapat diterima atau berada pada zona ambang batas beban yang diperkenankan yang telah ditetapkan oleh vendor penyedia equipment

Nozzle Mark	Force (N)			Moment (N-m)		
	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
N1(28")	45000	48950	48950	21160	15600	35000
N8/N5/N8 (2")	445	890	890	475	339	339
N7(3")	890	1779	1779	813	610	610



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap pertama melakukan perhitungan untuk mendapat desain *horizontal expansion loop*. Desain *horizontal expansion loop* menggunakan persamaan 1 sampai 3 dimana persamaan menggunakan persamaan dari Stewart. Didapat nilai dari minimum panjang loop adalah 15,5 meter dan lebar loop minimum adalah 8 meter sehingga desain penambahan seperti pada gambar 1



Pada tahap kedua melakukan perhitungan *maximum allowable pipe span* untuk mendapatkan jarak antar *support* dan jumlah *support*. Perhitungan *maximum allowable pipe span* menggunakan persamaan 4 dan 5 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 114,68 ft dan nilai *maximum allowable pipe span* berdasarkan batasan defleksi sebesar 58,53 ft. *Maximum allowable pipe span* yang dipilih adalah nilai yang paling kecil yaitu 58,53 ft. Dari nilai tersebut didapatkan jumlah *support* yang digunakan yaitu minimum 10 buah *support*.

Pada tahap berikutnya dilakukan analisis tegangan dengan *software* Hasil analisis tegangan pada jalur perpipaan dari knock out drum menuju gas flare yang telah ditambahkan horisontal loop dengan menggunakan *software* untuk beban sustain didapat nilai tertinggi adalah 2414.2 psi yang terletak pada node 120 di komponen PE 11 dimana untuk allowable stress untuk beban sustain sebesar 17804 psi memiliki ratio 13.6 %, kemudian untuk beban occasional dikarenakan beban angin nilai tegangan tertinggi yaitu ketika angin factor searah dengan sumbu Z+ dengan nilai sebesar 12259 psi pada node 259 yaitu di komponen ELL 8 sedangkan nilai allowable stress untuk beban occasional sebesar 23679,3 psi sehingga ratio nya mencapai 51,8 %, kemudian untuk beban occasional yang diakibatkan gempa nilai tegangan tertinggi terjadi saat gempa factor searah sumbu Z+ dengan nilai tegangan sebesar 13847,8 psi di node 239 lebih tepatnya di kode komponen ELL7 8 sedangkan nilai allowable stress untuk beban occasional sebesar 23679,3 psi sehingga ratio nya mencapai 58,5 %. Dan nilai tegangan akibat pembebanan ekspansi terdapat pada node 199 di komponen ELL5 dengan nilai tegangannya 40971 psi sedangkan nilai allowable stress dikarenakan beban ekspansi yaitu sebesar 455662,2 psi sehingga rasionya bisa mencapai 89,9%. Hasil dari semua load case yang terjadi masih berada dibawah nilai allowable stress yang telah ditetapkan sesuai dengan standart ASME B31.3

Pada tahap berikutnya setelah dilakukan analisis tegangan dilakukan analisis beban nozzle dengan batasan yang telah di tentukan oleh vendor penyedia equipment. 4. Nilai beban gaya dan momen nozzle tertinggi yang terjadi pada nozzle inlet gas flare yaitu pada saat kondisi operasi dengan resultan gaya pada sumbu Fx, Fy, dan Fz sebesar 7063 lb, 5590 lb, dan 1022 lb dengan allowable nozzle load sebesar 10116 lb, 11004 lb, dan 11004 lb. Sedangkan resultan momen pada sumbu Mx, My, dan Mz sebesar 9141.7 lb, 1485.2 lb, dan 644.3 lb dengan allowable nozzle load sebesar 15606.8 lb, 11505.9 lb, dan 25814.6 lb. Setelah penambahan *horizontal loop*, hasil analisis beban nozzle dibandingkan dengan hasil analisis beban nozzle sebelum penambahan *horizontal loop*. Sebelum penambahan *horizontal loop*, nilai momen saat

kondisi operasi dan ekspansi melebihi nilai momen yang telah ditentukan oleh vendor. Namun, setelah penambahan *horizontal loop*, tidak ada nilai gaya dan momen yang melebihi beban nozzle yang telah ditentukan oleh vendor. Dengan demikian, penambahan *horizontal expansion loop* ini memastikan bahwa beban pada nozzle tetap berada dalam batas yang aman

4. KESIMPULAN

Dengan penambahan *horizontal expansion loop* pada *critical line* dari *knock out drum* menuju gas flare dengan panjang minimum dan lebar minimum yang telah ditentukan dan juga perhitungan kembali untuk nilai *maximum allowable pipe span* untuk menentukan jarak support ternyata bisa mengatasi nilai *allowable nozzle load* yang berlebih sebelum ada penambahan *horizontal expansion loop*

5. PUSTAKA

- API 537 – Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service.
- ASME, 2016. ASME B31.3 Process Piping. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- Ivandri, H., Mulyatno, I. P., & Kiryanto. (2017). Jurnal Teknik Perkapalan. Jurnal Teknik Perkapalan, 5(4), 785.
- Hasan. M. Pekik Mahardhika dan Ernie Santoso.. 2017. Desain Expansion Loop Pada Line 116sv203-150-16h20 Fatty Acid Distillation Pt. Wilmar Nabati Indonesia. In: PPNS (Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya). 2nd Conference On Piping Engineering and Its Application (CPEAA) 2017. Surabaya. Indonesia 23 September 2017. Indonesia: Surabaya
- Kannappan. Sam. (1986). Introduction to Pipe Stress Analysis. John Wiley & Sons. Inc.. U.S.A.
- Krismantono, W. (2020). Analisa Tegangan Critical Line Pipe Dari Tie-In Point Existing Menuju Inlet North Acid Gas Flare Study Case Project Refinery Unit Di Perusahaan Pengolahan Minyak (Doctoral dissertation, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).
- Mahardhika, Pekik, et al. "Analisis Symmetrical dan Nonsymmetrical Vertical Expansion Loop untuk Meningkatkan Fleksibilitas dan Menurunkan Tegangan Pipa Berdasarkan ASME B31. 3." (2018).
- Priambodo, W. (2018). Desain Jalur Pipa dari Flare Knockout Drum 43MBD 301/401 Menuju Flare Stack (Doctoral dissertation, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).
- Tijara Pratama. 2004. Pelatihan Analisa Tegangan Pipa Menggunakan Software Coade- Caesar II.

Yavus, B. K., 2015. Implementation of Expansion Loops, Adana: Cukurova University

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>