

Analisis Tegangan Jalur Pipa *Existing* Dari *Steam Line* Menuju *Steam Rockmuffler* Pada Industri *Geothermal Power Plant*

Chika Amelia¹, Heroe Purnomo², Pekik Mahardhika³

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia¹

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia³

Email: chikaamelia24@student.ppns.ac.id¹; poernomo_heroe@ppns.ac.id²; pekikmahardhika@ppns.ac.id³;

Abstract -The issue of discrepancies in the elevation of the ground, foundation, and equipment locations on the 18-inch steam pipeline with the line number 200-18-ST-0212-3C8A-H at the Ijen Geothermal Power Plant Project in Bondowoso necessitates a redesign and stress analysis. This line is categorized as a critical line due to its 18-inch diameter and a design temperature exceeding 215°C. occasional, and thermal expansion. The analysis results show that the existing design exceeds the allowable stress limit for sustained loads, with the highest stress value of 19512 psi on the 90° elbow (E12), which has a ratio to the allowable stress of 114.1%. For occasional loads, the highest stress was found on the 90° elbow (E14) with a value of 16377.7 psi and a ratio of 88.3%, although still below the allowable limit. Meanwhile, for thermal expansion loads, the highest stress of 3813.8 psi is found on the 90° elbow (E11) with a ratio of 11.1%, also still below the allowable limit.

Keywords: geothermal, ASME B31.1, piping system, stress analysis.

Nomenclature

S_L	Total tegangan sustain (psi)
S_h	Stress at minimum metal temperature (lb/in ²)
S_E	Tegangan akibat pembebanan thermal (psi)
S_A	Allowable displacement stress range (psi)
F	Stress range reduction factor
OD	Outside diameter (inch)
ID	Inside Diameter (inch)
E	Modulus Elastisitas (psi)
I	Moment Inertia (in ⁴)
Z	Section Modulus (in ³)
Δ	Allowable Deflection (in ⁴)

1. PENDAHULUAN

Desain *Line* 200-18-ST-0212-3C8A-H berdiameter 18" yang memiliki kondisi temperatur desain keluar *reducer tee* sebesar 215 °C, temperatur operasi 193 °C serta tekanan desain sebesar 20 barg, dan tekanan operasi 12,655 barg. Pada saat pengerjaan desain tersebut terdapat permasalahan pada jalur sistem perpipaan *line number* 200-18-ST-0212-3C8A-H. Kendala yang dialami pada jalur perpipaan ini yaitu jalur tersebut ternyata mendapati ketidak sesuaian dengan elevasi tanah, pondasi dan letak *equipment Steam Rockmuffler* yang tidak sesuai dengan *drawing*. Sehingga dengan suhu tinggi tentu akan mempengaruhi tegangan internal, yang menyebabkan terjadinya pemuai pada pipa dan ditambah dengan adanya perubahan desain pipa yang menyebabkan *stress*. Sehingga diperlukan Analisis tegangan ulang pada desain *existing* yang

berdasarkan pada ASME B31.1 *for power piping*. Selain itu analisis tegangan dilakukan menggunakan *software* analisis tegangan yang digunakan untuk mengetahui tegangan serta beban yang diterima akibat *sustained load*, *occasional load*, dan *thermal expansion load*. Analisis tegangan memiliki peran utama dalam proses perancangan dan implementasi sistem perpipaan. Untuk mencegah kegagalan sistem, diperlukan perhitungan yang tepat agar perpipaan dapat berfungsi secara optimal ketika menerima beban selama operasi. Kebutuhan akan analisis ini semakin penting karena jalur tersebut diklasifikasikan sebagai *critical line*. Salah satu kriteria yang masuk *critical line* juga disebutkan pada code DNV-RP-D101 [4] "*Pipe Stress Priority Piping*" yaitu pipa 18" NPS dan lebih besar dengan suhu desain diatas 105°C.

2. METODOLOGI.

2.1 Critical Line Menurut Achmad Chamsudi

Dalam bidang Teknik, sistem perpipaan umumnya diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu *non-critical piping* dan *critical piping*. *Non-critical piping* mencakup semua jalur pipa (*line pipe*) yang tidak dianalisis dalam hal *piping stress analysis*, karena temperatur fluida yang dialirkan dalam pipa tidak memenuhi kriteria yang telah ditentukan [2].

2.2 Code and Standard

Standar merupakan dokumen teknis yang dirancang secara sistematis untuk menetapkan tentang persyaratan, spesifikasi, dan pedoman yang dapat digunakan sebagai acuan untuk

memastikan suatu material, produk, *process*, dan layanan harus memenuhi apa yang telah ditentukan.

Code and standard yang digunakan untuk penelitian Tugas Akhir ini mengacu pada standar untuk *Power Piping* ASME, B31.1[2], yaitu tentang *Power Piping, handbook* Sam Kannapan dan juga *handbook* [3] untuk analisa tegangan pada sistem perpipaan. Dalam Tugas Akhir ini berfokus untuk menganalisis pada sistem perpipaan yang diakibatkan oleh adanya perbedaan elevasi tanah dengan *survey* awal, pondasi dan juga perubahan posisi peletakan pipa *equipment steam rockmuffler*.

2.3 Kombinasi Load Case

Pembebanan, atau yang disebut juga *load case*, adalah metode perhitungan yang dilakukan oleh perangkat lunak analisis tegangan untuk menghitung beban yang terjadi pada suatu sistem perpipaan. Setiap beban yang terjadi akan dianalisis secara terpisah atau bersama-sama dalam bentuk kombinasi.

Standar *load case* yang direkomendasikan oleh *Software CAESAR II* terdapat unsur berat (W), *operating temperature* (T1), *design temperature* (T2), *operating pressure* (P1) dan *design pressure* (P2). Kombinasi *load case* yang terjadi adalah:

- A. *Load case* akibat *hydrotest*
L1=W+HP
- B. *Load case* akibat sistem bekerja (*operating*)
L2= W+P1+T1
- C. *Load case* akibat sistem bekerja (*operating*)
L3= W+P2+T2
- D. *Load case* akibat *sustained load*
L4= W+P1
- E. *Load case* akibat *sustained load*
L5= W+P2
- F. *Load case* akibat *Occasional load*
L6= W+P1+U1
- G. *Load case* akibat *thermal expansion*
L7= L2-L4
- H. *Load case* akibat *thermal expansion*
L8= L3-L5

2.4 Tegangan Pada Sistem Perpipaan

Analisis yang dilakukan pada sistem perpipaan berdasarkan akibat pembebanannya dibagi menjadi tiga yaitu meliputi akibat pembebanan *sustain*, *occasional*, dan *thermal expansion*. Pada analisis tegangan sistem perpipaan ini menggunakan *software* analisis tegangan.

2.4.1 Tegangan Akibat Beban Sustain

Beban *sustain* merupakan pembebanan yang bekerja secara terus menerus pada sistem perpipaan. Tegangan yang dihasilkan dari penjumlahan tegangan *longitudinal* (SL). Dengan

ketentuan bahwa nilainya tidak melebihi Sh (SL<Sh) [1].

$$S_L = S_L + \frac{0.75LM_A}{z} \quad (1)$$

2.4.2 Tegangan Akibat Beban Occasional

Beban *occasional* disebut juga dengan beban *seismic* yang disebabkan oleh adanya pergerakan tanah secara acak dan menyebabkan beban inersia dan struktur pipa yang terinduksi. Pembebanan akibat *occasional load* dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\frac{PD_0}{4t_n} + \frac{0.75iMA}{z} + \frac{0.75iMB}{z} \leq kS_h \quad (2)$$

2.4.3 Tegangan Akibat Beban Thermal expansion

Beban ekspansi terjadi akibat adanya perbedaan *temperatur* fluida yang dialirkan didalam pipa dan *temperatur* pada dinding pipa. Nilai tegangan ijin dan pembebanan akibat *thermal expansion* tidak boleh melebihi nilai dari tegangan yang diijinkan material yang dapat dihitung dari *stress range reduction factor*, *stress at minimum metal temperatur*, dan *stress at maximum metal temperatur* dapat dirumuskan sebagai berikut [1]:

$$S_E = \frac{iM_c}{z} \quad (3)$$

$$S_A = F(1.25 S_c + 0.25 S_h) \quad (4)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Teknis

Untuk melakukan perhitungan tegangan diperlukan data yang diperoleh dari *line number* 200-18-ST-0212-3C8A-H. Selain itu, ada juga data yang diambil dari *code and standard* yang digunakan, serta data lain yang diambil dari berbagai literatur terkait penelitian sebagai pendukung. Data tersebut mencakup informasi tentang spesifikasi pipa, fluida yang digunakan, parameter desain dan kondisi instalasi [4].

Tabel 1 Data Spesifikasi Pipa

NPS	Units	Nilai
OD	Inchi	18,000
ID	Inchi	17,000
Wall Thickness	Inchi	0,500
Pipe density	Inchi	0,284
SMYS	lb/in ³	35000
SMTS	lb/in ³	60000
NPS	Units	Nilai
Moment Inertia (I)	Inchi	1050
Modulus Section (Z)	inchi ³	117

Modulus Elastisitas (E) lb/in³ 27,6 x10

EXP = L1-L5

3813,8

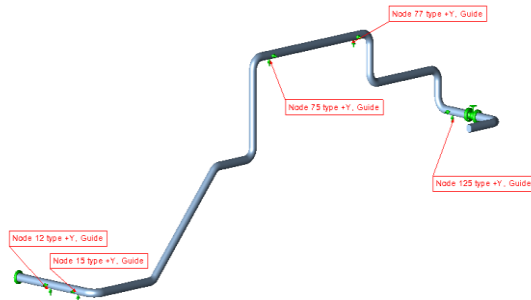
25650

Tabel 2 Data Fluida

Parameter	Nilai	Satuan
Temperatur Operasi	193	°C
Temperatur Desain	215	°C
Tekanan Operasi	12635	Barg
Tekanan Desain	20	Bar
Fluida density	0,0361	lb/in ³
Test Pressure	30	Barg
Insul Thickness	5	Inchi

3.1.1 Hasil Desain

Dibawah ini merupakan gambar desain *steam line* yang mengalami kondisi penurunan tanah yang mengharuskan adanya perhitungan ulang analisis tegangan. penambahan panjang pipa dan *pipe support*, yang dipresentasikan pada gambar 1 desain sebagai berikut.



Gambar 1. Desain Sistem Perpipaan

3.4 Analisis Tegangan

Setelah dilakukan pemodelan pada *software* analisis tegangan kemudian dilakukan analisis tegangan pada pipa *line number* 200-18-ST-0212-3C8A-H dengan *load case* pada tabel 4.

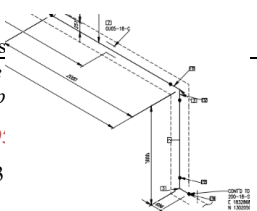
Tabel 4 Load Case Analisis Tegangan

LOAD CASE	CATEGORY	LOAD COMBINATION
L5	Sustained	SUS = W+P1
L4	Occasional	OCC = W+P1+U1
L7	Expansion	EXP = L1-L5

Berikut ditunjukkan hasil analisis tegangan akibat pembebanan pada jalur pipa desain eksisting dan desain baru yang ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

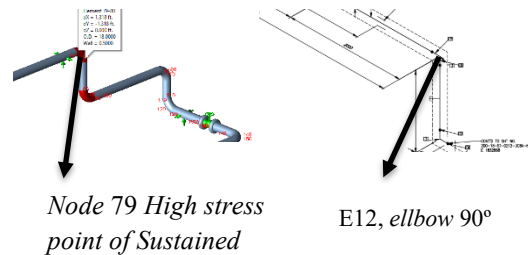
Tabel 5 Load Case Hasil Analisis

Load Case	Code (p)
SUS = W+P1	19
OCC = W+P1+U1	163



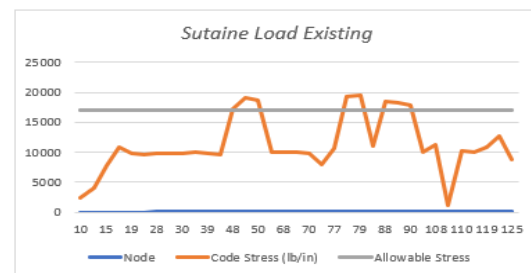
3.4 Analisis Tegangan Sustained Load

Dari hasil *report* setelah dilakukan analisis tegangan dengan menggunakan *software* CAESAR II berdasarkan pembebanan *sustained load*. Didapatkan hasil dengan nilai tertinggi terdapat pada *lead component* E12 (*ellbow 90°*) dengan nilai *code stress* sebesar 19512 psi dengan rasio tegangan terhadap *allowable stress* 114.1%. yang dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



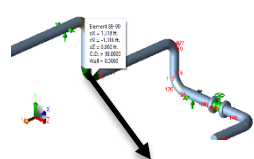
Gambar 2. Analisis Tegangan Sustained Load

Ditinjau dari hasil *report* dengan nilai tertinggi pada area tersebut mengalami *overstrees* dengan nilai tegangan melebihi nilai tegangan ijin ASME B31.1. Dengan grafik perbandingan antara nilai *code stress* dan *allowable stress* seperti pada Gambar 3 dibawah ini.



3.4 Analisis Tegangan Occasional Load

Dari hasil *report* setelah dilakukan analisis tegangan dengan menggunakan *software* CAESAR II akibat pembebanan *occasional load*. Didapatkan hasil nilai tertinggi tegangan terdapat pada *lead component* E14 (*elbow 90°*) dengan nilai *code stress* sebesar 16377.7 psi, dengan rasio tegangan 883% yang dapat dilihat pada gambar 4 dibawah .



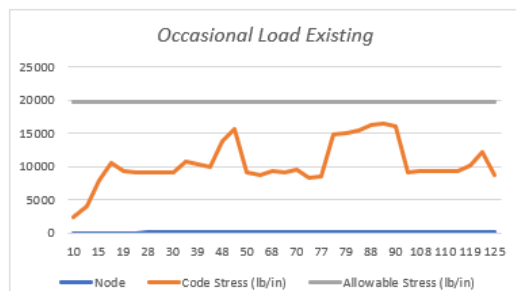
E14 (elbow 90°)

Node 89 High stress point of Occasional Load

Ditinjau dari gambar diatas

Gambar 4. Analisa Tegangan Occasional Load

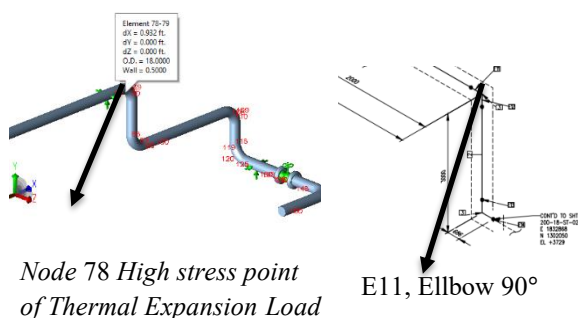
area pipa berada pada posisi menggantung dari permukaan tanah dan juga tidak terdapat *pipe support* yang dapat menopang area tersebut sehingga dapat mengalami kerusakan (*deformasi*) saat terjadi gempa bumi. Nilai tegangan masih dibawah nilai tegangan ijin ASME B31.1. Grafik perbandingan antara nilai *code stress* dan *allowable stress* seperti pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Grafik Tegangan Occasional Load

3.4 Analisis Tegangan Thermal Expansion Load

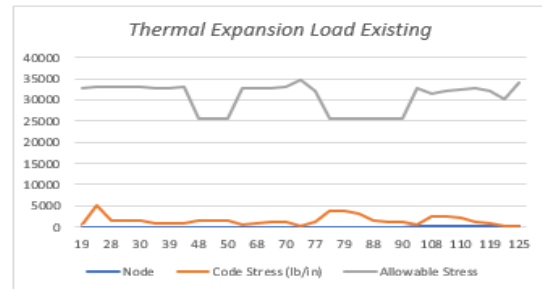
Dari hasil report setelah dilakukan analisis tegangan dengan menggunakan software CAESAR II 2019 akibat pembebanan *thermal expansion load*. Didapatkan hasil nilai tertinggi tegangan akibat expansion terdapat pada node 78 pada *lead component elbow 90°* dengan nilai *code stress* sebesar 3877 psi dengan rasio tegangan 11.1 % yang dapat dilihat pada gambar 6 Dibawah.



Gambar 6. Analisa Tegangan Occasional Load

Ditinjau pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada *lead component elbow 90°* dengan node 78 pada area belokan (*elbow 90°*) menunjukan pada area tersebut tidak mengalami *overstress* dan nilai masih dibawah nilai tegangan ijin ASME B31.1. Hal ini dikarenakan pada tegangan akibat *thermal expansion load* dipengaruhi oleh tegangan tekuk dan juga tegangan puntir sehingga nilai lebih tinggi pada pipa belokan. Grafik perbandingan antara nilai

code stress dan *allowable stress* seperti pada



Gambar 7 dibawah ini

4. KESIMPULAN

Gambar 7. Grafik Tegangan Thermal Load

Berdasarkan hasil dan pembahasan didapatkan Kesimpulan. Nilai tegangan pada sistem perpipaan dengan *line number* 200-18-ST-0212-3C8A-H dengan desain *existing* akibat pembebanan *sustained load* nilai tegangan tidak memenuhi batas ijin ASME B31.1 dengan nilai tegangan sebesar 19512 psi. Nilai tegangan desain *existing* akibat pembebanan *occasional load* yaitu dengan nilai tegangan sebesar 16377,7 psi. Nilai tegangan desain *existing* akibat pembebanan *thermal expansion* yaitu dengan nilai tegangan sebesar 3813.8 psi.

5. PUSTAKA

- [1] ASME. (2018). *ASME B31.1-2018 Power Piping ASME Code for Pressure Piping, B31. 1.*
- [2] Chamsudi. (2005). *Diktat : Piping Stress Analysis, Jakarta: PT. Rekayasa Industri.* (2005).
- [3] Smith, P. R., & Van Laan, T. J. (1987). *Piping and Pipe Support Systems Design and Engineering* (p. 333).
- [4] DnvGL, D. N. V. (2008). *STRUCTURAL ANALYSIS OF PIPING SYSTEMS recommended practice dnv-rp-d101. July.*