

ANALISA RANCANGAN SISTEM PEMIPAAN DARI BEJANA TEKAN KE BEJANA LAINNYA BERDASARKAN *STRESS ANALYSIS* DENGAN PENDEKATAN CAESAR II

Muhammad Aji Luhur Wiguna¹⁾, Budhi M. Suyitno²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila

²⁾ Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila

Corresponding Author : aji.luhur21@gmail.com

ABSTRAK

Sistem pemipaan merupakan sistem yang sangat penting dalam dunia industri, terutama dalam industri *oil and gas* sistem pemipaan adalah inti dari proses produksi. Pada perancangan sistem pemipaan dibutuhkan sistem yang baik dan efisien. Pada tugas akhir ini akan di analisis Rancangan Sistem Pemipaan dari Bejana Tekan ke Bejana Lainnya Berdasarkan *Stress Analysis* dengan Pendekatan CAESAR II. Pada saat pipa dalam keadaan *sustain load* semua segman tidak ada yang melebihi batasan tegangan izin dari code B31.3. tegangan terbesar yang terjadi adalah 19.090,1 KPa pada *node* 210 sedangkan maksimal batasan tegangan yang diizinkan adalah 115.139,8 KPa. Kemudian saat pipa dalam keadaan *expansion load* tegangan yang terjadi juga tidak ada yang melebihi nilai batas tegangan yang diizinkan. Tegangan terbesar yang terjadi pada saat *expansion load* adalah sebesar 30.098,4 KPa yang terjadi pada *node* 230 dengan maksimal tegangan yang diizinkan sebesar 271.687,1 KPa. Pada hasil *nozzle check* tegangan yang terjadi dengan analisa WRC 107 juga masih tergolong aman karena tegangan masih dibawah nilai batas maksimal tegangan yang diizinkan.

Kata Kunci: *Tegangan, Sustain Load, Expansion Load, Nozzle, ASME B31.3..*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.

Sistem Perpipaan merupakan suatu sistem yang sangat penting dalam proses industri. Pipa pada umumnya berguna untuk mengalirkan suatu fluida baik itu cair maupun gas dari suatu tempat ke tempat yang lain tanpa bantuan mesin atau dengan bantuan mesin. Sistem pemipaan harus disusun sepraktis mungkin dengan minimum bengkokan atau sambungan las (Mahfud, Satrijo dan Prahasto, 2016). Pada sistem instalasi diharapkan menghasilkan suatu jaringan instalasi pipa yang efisien baik dari segi peletakan maupun segi keamanan harus diperhatikan sesuai peraturan klasifikasi-klasifikasi maupun dari spesifikasi *installation guide* dari sistem pendukung pemesian.

Sitem pemipaan merupakan pipa yang saling berhubungan dengan pipa lainnya. Termasuk didalamnya terdapat komponen pipa, penyangga pipa, dan *equipment* yang berhubungan seperti *vessel*, tanki, pompa, *heat compressor*, dan lain-lain. Jika sekali saja terdapat kegagalan dalam suatu system pemipaan akan memungkinkan terjadinya *shut down* dalam produksi yang sedang berjalan, atau bisa saja terjadi ledakan yang mengakibatkan bahaya bagi lingkungan sekitar.

Stress analysis merupakan suatu metode metode penting untuk memastikan dan menetapkan bahwa sistem pemipaan yang dirancang adalah aman tanpa

terjadinya kegagalan akibat dari beberapa faktor *internal*/maupun eksternal (Parada Anugerah Pridyatama, 2014). Maka dari itu seorang engineer dituntut mampu untuk menganalisa sistem perpipaan tersebut sehingga tidak terjadi kegagalan dengan menggunakan metode perhitungan *stress analysis*.

1.2 Tujuan Penelitian,

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- Menganalisa distribusi tegangan yang terjadi.
- Menganalisa tegangan yang terjadi pada nosel.
- Mendapatkan rancangan sistem pemipaan yang baik dan aman.

II. STUDI PUSTAKA

2.1 Analisa Tegangan Pipa

Dalam sistem perpipaan sangat dimungkinkan terjadi *over stressing* yang mengakibatkan sistem perpipaan tersebut gagal. Maka dari itu seorang *engineer* membutuhkan metode perhitungan untuk mengantisipasi hal tersebut. Metode tersebut adalah *pipe stress analysis*. *Pipe stress analysis* merupakan cara perhitungan tegangan pada pipa yang dipengaruhi oleh beban statis maupun dinamis yang terjadi akibat dampak dari gravitasi, variasi suhu, tekanan pipa itu sendiri, pengaruh gaya *seismic*, dan jumlah yang berubah dari debit aliran fluida dalam pipa.

2.2 Tegangan Primer

Tegangan primer merupakan jenis tegangan yang oleh *sustain load* atau dengan kata lain tegangan yang terjadi akibat berat sistem pemipaan itu sendiri (Chamsudi, 2012). Terdapat dua tegangan yang berlaku yaitu *longitudinal stress* dan *hoop stress*, tegangan ini dikategorikan kedalam tegangan yang berbahaya (ITT Grinnell Industrial Piping, 1981). Pada sistem pemipaan jika hal ini terjadi, solusinya adalah dengan mengatur penempatan *pipe support* dan mengkonfigurasi jenis *pipe support* dengan sedemikian rupa (Sam Kannappan, 1985). Adapun rumus tegangan akibat *sustain load* sesuai ASME B31.3 adalah:

$$S_L = \sqrt{(S_a + S_b)^2 + (2S_t)^2} \quad [1]$$

2.3 Tegangan Sekunder

Tegangan sekunder adalah tegangan yang diakibatkan oleh *thermal load* dengan kata lain disebabkan oleh temperatur fluida yang mengalir, yang mana kemudian pipa mengalami pemuaian atau penyusutan (B31.3, 2014). Adapun rumus tegangan akibat *sustain load* sesuai ASME B31.3 adalah:

$$S_E = \sqrt{S_b^2 + 4(S_t)^2} \quad [2]$$

2.4 Allowable Stress

Nilai *allowable stress* adalah nilai tegangan maksimal yang diizinkan (B31.3, 2014). Untuk nilai *allowable* saat *sustain load* mengikuti pada *basic*

allowable pada ASME B31.3 pada tabel A-1M sesuai jenis material yang digunakan. Adapun rumus *allowable stress* saat *thermal load* sesuai ASME B31.3 adalah:

$$S_A = F(S_c + S_h) \quad [3]$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

- Pengumpulan data dan teori yang berkaitan dengan sistem pemipaan pada proyek.
- Cek gambar *isometric* dengan melihat gambar *isometric* untuk memeriksa gambar dan mendapatkan data pipa yang akan dibutuhkan pada analisa. Misalnya: jenis fluida, temperatur, *line number*, tekanan pipa, ketebalan pipa, diameter pipa, panjang pipa, material pipa, *code* standar yang digunakan, dll.
- Pemodelan menggunakan CAESAR II berdasarkan gambar *isometric*.
- Cek *error* pada model pemipaan di CAESAR II, apakah masih ada yang tidak sesuai dengan data dan standar peletakan komponen pemipaan.
- Analisa tegangan sistem pemipaan dengan menggunakan CAESAR II dan perbandingannya dengan perhitungan manual, jika masih terdapat kegagalan dalam sistem maka harus menganalisa dimana titik kegagalannya kemudian mencari solusinya.
- Analisa nilai *allowable* sesuai ASME B31.3, apakah tegangan yang terjadi melebihi batasan *allowable* atau tidak. Jika masih diatas nilai kebolehan, maka kembali mencari solusinya agar tegangan dapat dibawah nilai kebolehan.
- Analisa beban nosel yang terhubung langsung pada *vessel*, jika beban nosel melebihi batasan, maka dianalisa dan mencari solusinya agar beban nosel tidak melebihi batasan yang ditentukan *code*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Sistem Pemipaan

Tabel 1. Data Material Pipa

<i>Properties</i>	Pipa A358 304L (<i>Stainless Steel</i>)
<i>Corrosion Allowance</i>	1,6 mm
<i>Density of Pipe</i>	8000 kg/m ³
<i>Fluid Density</i>	51,25 kg.m ³
<i>Operation Temperature</i>	27 °C
<i>Design Temperature</i>	55 °C
<i>Operation Pressure</i>	3896 kPa
<i>Design Pressure</i>	4289 kPa

Tabel 2. Dimensi Pipa

NPS	Ketebalan (mm)	Diameter Luar (mm)	Diameter Dalam (mm)	Momen Inersia (mm ⁴)	Section Modulus (mm ³)
26"	38,89	609,6	570,7	1.571.586.188,6	5.156.211,6

4.2 Penentuan Nilai *Allowable*

Nilai *allowable stress* saat *sustain* diambil pada *basic allowable* pada ASME B31.3 pada *temperature desain* operasi yaitu 55°C. Diambil dari tabel A-1M dengan nilai *allowable* sebesar 115.139 kPa. Adapun nilai *Allowable* saat *thermal load* adalah:

$$S_A = 1,25 (115.139 + 115.139)$$

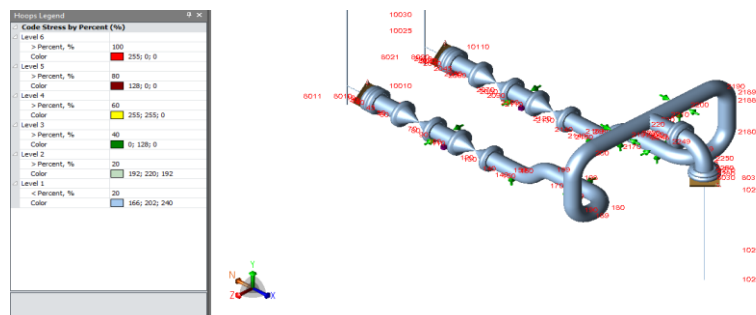
$$S_A = 271.678,1 \text{ kPa}$$

4.3 Analisa Tegangan dengan CAESAR II

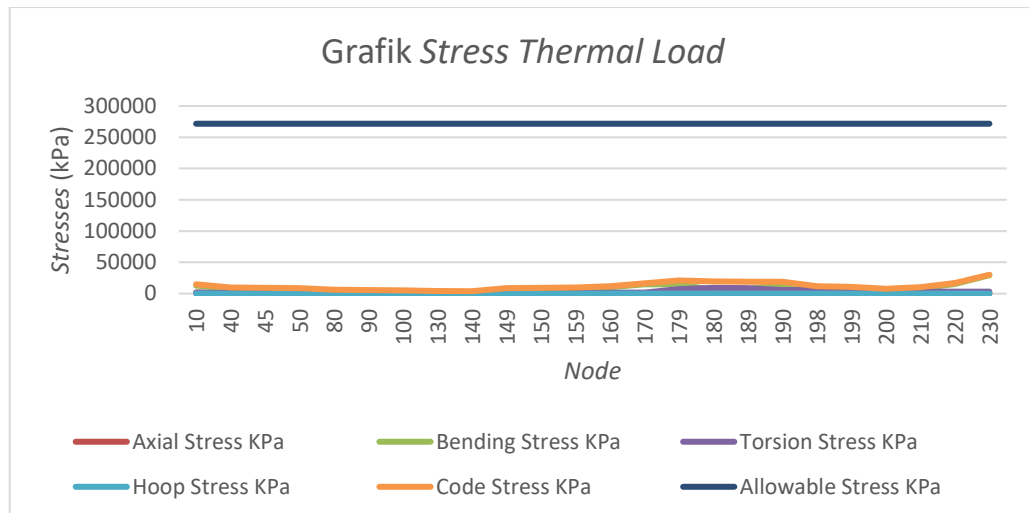
Analisa yang dilakukan adalah analisa pada saat *thermal load*, *sustain load*, dan analisa *stress nozzle*. Berikut adalah hasil analisisnya:

a. *Thermal Load*

Thermal load merupakan kondisi pipa mengalami ekspansi yang disebabkan oleh temperatur aliran fluida dalam pipa yang akan mengakibatkan pipa berekspansi memuai atau menyusut. *Pipe support* yang digunakan adalah jenis *spring hanger*, *resting*, dan *guide*. Penggunaan *support* jenis *spring hanger* diletakan di dekat *nozzle* yang difungsikan untuk menahan beban yang ditimbulkan oleh gaya tarik dan dorong yang ditimbulkan oleh kedua bejana agar lebih bisa fleksibel. Kemudian penggunaan *support* jenis *resting* diletakan pada *node* yang memiliki *bending stress* besar yang bertujuan untuk menahan beban bending agar tidak terlalu besar. Untuk *support guide* digunakan pada *node* yang memiliki defleksi besar. Adapun hasil analisa saat *thermal load* adalah:

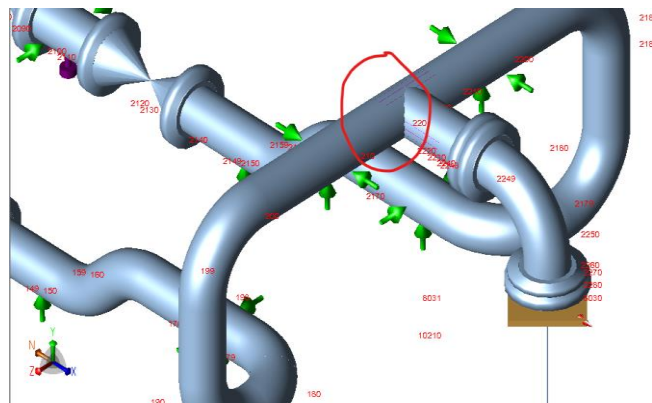


Gambar 1. Analisa Tegangan saat *Thermal Load*



Gambar 2. Grafik Analisa Tegangan saat *Thermal Load*

Dari grafik didapatkan saat sistem pemipaan mengalami tegangan saat *thermal* atau saat pipa berekspansi dengan konfigurasi *support resting*, *guide*, dan *hanger*, didapati tegangan terbesar terjadi pada node 230 yang terdapat pada sambungan *tee* dan diantara *support resting+guide* yaitu dengan *code stress* sebesar 30.098,4 kPa.

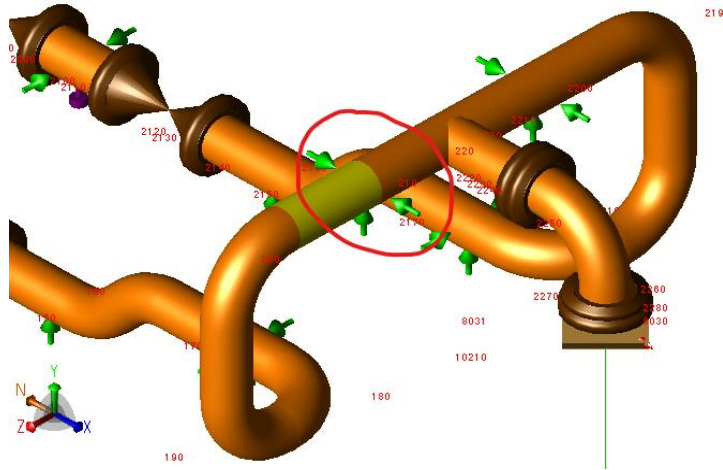


Gambar 3. Letak Tegangan Terbesar saat *Thermal Load*

Perbandingan antara Perhitungan CAESAR II dan perhitungan secara manual dengan mengambil salah satu *node*:

Tabel 3. Hasil Perhitungan Manual dan CAESAR II saat *Thermal Load*

Node	Thermal Stress Manual (kPa)	Thermal Stress CAESAR II (kPa)	Defiasi	Allowable (kPa)
210	8.823,52	8.325,2	498,32	271.678,1



Gambar 3. Letak Tegangan Terbesar saat *Sustain Load*

Perbandingan antara perhitungan CAESAR II dan perhitungan secara manual dengan mengambil salah satu *node*:

Tabel 4. Hasil Perhitungan Manual dan CAESAR II saat *Sustain Load*

<i>Node</i>	<i>Code Stress Manual (kPa)</i>	<i>Code Stress CAESAR II (kPa)</i>	Defiasi	<i>Allowable (kPa)</i>
200	17.008,1	16.173,8	834,3	115.139,8

c. Analisa *Nozzle* dengan WRC 107

Analisa pertama beban yang terjadi pada nosel *equipment vessel* ditinjau dari moment dan gaya sumbu x, y, dan z. Nosel yang digunakan adalah nosel vertikal pada *vesse/231-D9003* dengan node 8030 dan nosel horizontal pada *vessel 231-D9004A* dengan node 8010 dan *vessel 231-D9004B* dengan node 8020. Dalam analisa ini juga rancangan *pipe support* masih sama dengan analisa *thermal* dan *sustain*. Analisa ini ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 5. Hasil Perhitungan Beban *Nozzle* CAESAR II

<i>Node</i>	<i>Stress (kPa)</i>	<i>Allowable Stress (kPa)</i>
8010	118.312	137.892
8020	118.312	137.892

V. KESIMPULAN

- a. Pada saat *thermal load* semua segmen tidak ada yang melebihi nilai *allowable* yang ditentukan oleh *code* B31.3 yaitu sebesar 271.678,1 kPa. Tegangan yang paling besar saat *thermal load* adalah pada *node* 230 yaitu sebesar 30.098,4 kPa yang terjadi pada elemen *tee* yang dekat dengan *support resting* dan *guide* pada *node* 210. Pada analisa perhitungan manual yang dilakukan pada *node* 210 didapat nilai tegangan sebesar 8.823,52 kPa, dan saat perhitungan

dengan CAESAR II didapat sebesar 8.325,2 kPa. Defiasi yang terjadi antara analisa manual dengan CAESAR II cenderung besar nilainya, yaitu sebesar 498,32. Namun, baik analisa yang dilakukan secara manual maupun dengan CAESAR II masih jauh dibawah batas tegangan yang diizinkan yang sebesar 271.678,1 kPa. Pada saat keadaan *sustain load* tegangan terbesar terjadi pada *node* 210 yang ditumpu oleh *support* jenis *resting* dan *guide* dengan nilai tegangan sebesar 19.090,1 kPa. *Node* 210 dekat dengan segmen *node* 200 yang tegangannya juga cukup lumayan besar, ketika dilakukan analisa manual pada *node* 200, didapati nilai tegangan sebesar 16.173 kPa, dan hasil yang diberikan CAESAR II sebesar 16.173,8 kPa. Defiasi yang terjadi sebesar 834,3 kPa. Namun meskipun terdapat perbedaan yang cukup besar antara analisa manual dan analisa CAESAR II, keduanya masih jauh dibawah nilai tegangan izin yang diperbolehkan yaitu sebesar 115.139 kPa.

- b. Analisa WRC 107 pada CAESAR II yang mana WRC 107 memakai nilai *allowable* berdasarkan tegangan yang terjadi. Tegangan yang terjadi pada saat dilakukan analisa untuk *nozzle* 8010 dan 8020 nilainya sama yaitu sebesar 118.312 kPa dan nilai maksimal batas tegangan izinnnya adalah 137.892 kPa dengan *safety factor* 1,4. Maka pada hasil analisa *nozzle* dapat disimpulkan bahwa pada saat beroperasi *nozzle* tetap aman.
- c. Semua analisa yang dihasilkan mendapatkan nilai yang dibawah batas tegangan izin. Maka sistem pemipaan dapat disimpulkan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- B31.3, A. (2014) *Process Piping*, 'The American Society of Mechanical Engineers'. Chamsudi, A. (2012) 'Diktat - Piping Stress Analysis'.
- ITT Grinnell Industrial Piping, I. (1981) '*Piping Design and Engineering, Distribution*'.
- Mahfud, M. Z., Satrijo, D. and Prahasto, T. (2016) 'Desain dan Analisis Tegangan Sistem Perpipaan Main Steam (High Pressure) pada Combined Cycle Power Plant', *Teknik Mesin, Universitas Diponegoro*, vol 4 no. 1, pp. 79–88.
- Parada Anugerah Pridyatama (2014) 'Analisa Rancangan Pipe Support pada Sistem Pemipaan High Pressure Vent Berdasarkan Stress Analysisi dengan Pendekatan CAESAR II', *Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*.
- Sam Kannappan, P. E. (1985) '*Introduction to Pipe Stress Analysis*'.