

# Analisa Tegangan Pipa Main Steam Dari Outlet Superheater Menuju Inlet Turbin

## Studi Kasus PLTU Tembilahan 2x7 MW

Tri Handika Rachmanu <sup>1\*</sup>, Mardi Santoso <sup>2</sup>, Nurvita Arumsari<sup>3</sup>

Student of Ship Building of Politechnic Surabaya, Surabaya, Indonesia<sup>1\*</sup>  
Teacher of Ship Building Politechnic of Surabaya, Surabaya, Indonesia<sup>2</sup>  
Teacher of Ship Building Politechnic of Surabaya, Surabaya, Indonesia<sup>3</sup>

Email: [Trihandikarachmanu31@gmail.com](mailto:Trihandikarachmanu31@gmail.com)<sup>1\*</sup>; [Mardisantoso@ppns.com](mailto:Mardisantoso@ppns.com)<sup>2\*</sup>; [Arum.up3d@gmail.com](mailto:Arum.up3d@gmail.com)<sup>3\*</sup>;

**Abstrack** - The main steam pipe connected between the secondary superheater outlet to the turbine inlet. The piping system requires the flexibility calculations using computer analysis. Analysis is done to keep the piping system can operate safely in accordance with the limits on ASME B31.1. Stress analysis in this thesis focuses on the analysis of static voltage which includes a voltage due to sustained load, occasional load, and thermal expansion. From the above problems analyzed by comparing the results of running the manual calculation with CAESAR II 5.1 software. so that the bias voltage value corresponding known limitations ASME B31.1 code. Result obtained from this analysis is the comparison between the results of manual calculations and software. Due to sustained load voltage difference occurs in the lowest segment 1 with the results of manual calculations and results amounted to 1277.88 psi software amounted to 2316.9 psi. While the value of the highest voltage occurs in segment 2 of 4552.62 psi on manual calculations and 4099.1 psi on a calculation software. For occasional tension voltage value is highest in segment 2 of 5130.12 psi on manual calculations and 4221.2 psi on a calculation software. While the value of the lowest voltage occurs in segment 1 with a value of 1835.17 psi on manual calculations and 2146.7 psi on a calculation software. For the highest thermal stress occurs at node 1 with the results of manual calculations and results amounted to 70 417 psi software amounted to 8314.5 psi. While the value of the lowest voltage occurs in node 3 with manual calculations and results amounted to 4070.02 psi psi 3142.9 software. Nevertheless all voltages result in both manual and software is still in the allowable stress limits of the material used. To support the corresponding technical standards using a guide support with the force direction Y + and Z 3 units with a minimum distance of 102.36 in.

**Keyword** : Stress, sustained loads, occasional loads, thermal ekspansi, support.

### 1. PENDAHULUAN

Pipa *main steam* adalah suatu pipa yang mengalirkan fluida yang bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi. Dalam tahap perancangan sistem perpipaan perlu dilakukan perhitungan yang kompleks untuk menjaga agar sistem perpipaan aman pada waktu beroperasi.

Salah satu perhitungan *engineering* yang vital dan menentukan keberhasilan suatu sistem perpipaan adalah perhitungan peletakan support dan analisa tegangan pipa (*pipe stress analysis*). Dalam hal yang ini dipakai jenis support *constans spring hanger*. penggunaan *contains spring hanger* dilakukan karena persentase variasi kondisi *cold* ke *hot* lebih kecil dari 6% dan jika pergerakan vertikalnya sangat besar lebih dari 50 mm. kedua kondisi ini pada umumnya terjadi pada pipa yang dekat dengan *nozzle equipment* yang *critical*. (*equipment* yang *critical* seperti *reciprocating*

*compressor, turbin, boiler*) Untuk memenuhi suatu kriteria keselamatan kerja maka sistem perpipaan ini harus bisa menahan beban keseluruhan yang sedang berjalan atau bekerja terus menerus (*working load*), diantaranya beban statis (*static load*) dimana menghitung beban yang bekerja secara terus menerus maupun beban dinamis (*dynamic load*) menghitung beban yang berubah-ubah sesuai fungsi waktu.

Jalur perpipaan ini berdiameter 8 inchi dan *operating temperature* sebesar 485° C, dengan demikian beban dan ekspansi panas yang diterima pipa sangat besar sehingga perlu adanya perhitungan dan simulasi yang tepat, antara lain perhitungan peletakan *support* yang berpengaruh penting terhadap keberhasilan sistem perpipaan. Maka dari itu pengerjaan tugas akhir ini menitikberatkan pada analisa tegangan pipa untuk memenuhi kriteria keamanan dari *line pipe* yang dianalisa. Standar yang

akan digunakan sebagai acuan dalam dalam perhitungan analisa tegangan adalah ASME B31.1 2014.

1 Berdasarkan latar belakang di atas maka tujuannya ialah menentukan jumlah dan posisi penyangga yang sesuai setandart teknis pada pipa *main steam*, menentukan perhitungan insulasi untuk jalur pipa *main seam*, menentukan nilai tegangan akibat *sustained load* yang terjadi pada pipa *main steam*, menentukan nilai tegangan akibat *occasional load* yang terjadi pada pipa *main steam*, dan menentukan nilai tegangan akibat ekspansi termal yang terjadi pada pipa *main steam*.

## 2 2. TEORI PENELITIAN.

### 2.1 Formula perhitungan insulasi

Panas ditransfer oleh salah satu dari, atau kombinasi, konduksi, konveksi, dan atau radiasi. Konduksi hanya terjadi ketika ada kontak fisik. Panas ditransfer melalui logam yang paling sangat secara efisien karena logam adalah konduktor yang baik. Bahan isolasi yang baik adalah konduktor yang buruk. Konveksi, sehubungan dengan sistem isolasi, adalah gerakan udara pada atau sekitar permukaan tubuh terisolasi. Dan radiasi paling tepat digambarkan dengan mengacu pada kehangatan yang anda rasakan ketika anda berdiri di bawah sinar matahari atau dengan kebakaran. Panas yang ditransfer melalui isolasi terutama fungsi dari ketahanan isolasi terhadap ketebalannya, suhu operasi permukaan yang terisolasi, karakteristik permukaan membran luar (lihat daya pancar di atas), dan kondisi lingkungan yang terlibat. Konduktivitas termal, seperti didefinisikan di atas adalah laju perpindahan panas dalam satu arah (tegak lurus ke area) per satuan luas, per unit suhu diferensial per satuan ketebalan, per satuan waktu. Dalam sistem unit, konduktivitas  $k = (W/(m^2.K))$ .

### 2.2 Formula perhitungan support

*Supoort* adalah alat yang digunakan untuk menahan atau menyangga suatu sistem perpipaan. *Support* dirancang untuk dapat menahan berbagai macam bentuk pembebanan baik statis maupun dinamis. Penempatan *support* harus memperhatikan dari pergerakan sistem perpipaan terhadap profil pembebanan yang mungkin terjadi pada berbagai kondisi. Berdasarkan pembebanannya penyangga pipa dapat dibagi menjadi dua yaitu pembebanan statis dan pembebanan dinamis [7]. Penyangga harus

mampu menahan keseluruhan berat suatu sistem perpipaan, termasuk didalamnya berat pipa, insulasi, fluida yang terkandung, komponen, dan penyangga itu sendiri.

Hal penting yang perlu diperhatikan dalam mendesain *piping support*, antara lain [7] Berat pipa, jenis pipa, mencegah perambatan getaran, ekspansi pipa, jarak antar pipa.

Untuk menghindari defleksi pada pipa, *support* yang baik perlu mempertimbangkan jarak antar tumpuan atau *pipe span*. Jarak ini dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$L_s = \sqrt{0,33Szh/W} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

$L_s$  = allowable pipe span (in)

L = panjang pipa (in)

Z = section modulus (in<sup>3</sup>)

$S_h$  = allowable tensile stress pada temperatur tinggi (psi)

W = berat total pipa (lb/in)

### 2.3 Formula perhitungan sustained load

*Sustained load*

$$\frac{PDC}{4t} + \frac{Fax}{Am} + \frac{Mb}{Z} \leq 1 \cdot S_H \dots\dots\dots(2.2)$$

### 2.4 Formula perhitungan occasional load

*Occasional loads Seismic*

$$S_{sustained} + \frac{MB}{Z} \leq k S_H \dots\dots\dots(2.3)$$

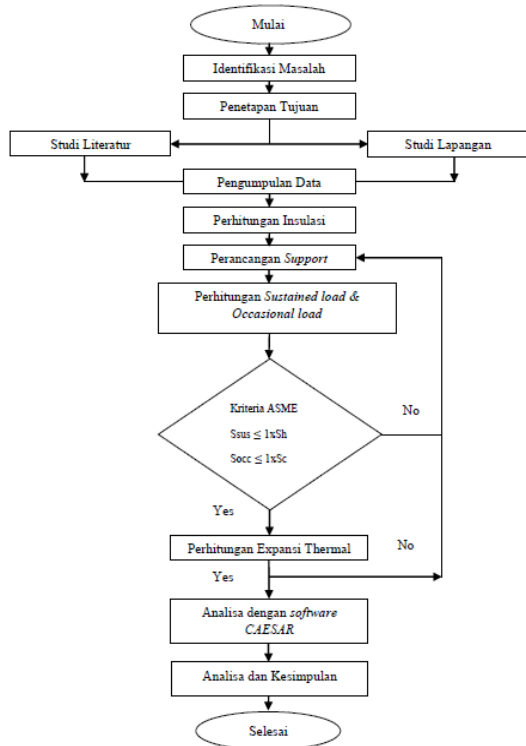
### 2.5 Formula perhitungan expansion thermal load

*Expansion thermal loads*

$$\text{Seksansi} = f (1.25 S_c + 0.25 S_h) \dots\dots\dots(2.4)$$

## 2.1 3. METODOLOGI.

Diagram alir penelitian jurnal ini ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

### 3 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Tebal insulasi

Tebal insulasi yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} \Delta x &= 0,41\text{m} - 0,31\text{m} \\ &= 0,1\text{m} \\ &= 3,937 \text{ in} \end{aligned}$$

Jadi untuk tebal insulasi yang digunakan adalah 3,937 in dengan menggunakan jenis insulasi *calcium silicate*.

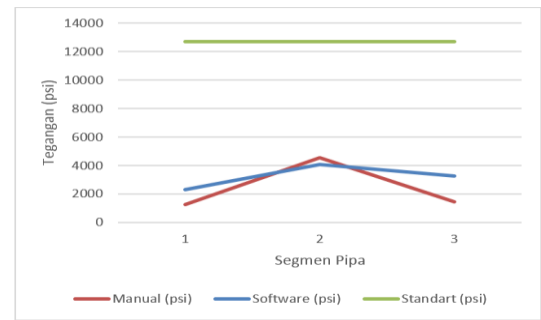
#### 4.2 Peletakan support

$$\begin{aligned} \text{Jumlah support} &= \frac{L_{\text{pipe}}}{L_{\text{span}}} \\ &= \frac{1016,9\text{in}}{273,8\text{in}} \\ &= 3,02 \approx 3 \text{ buah support} \end{aligned}$$

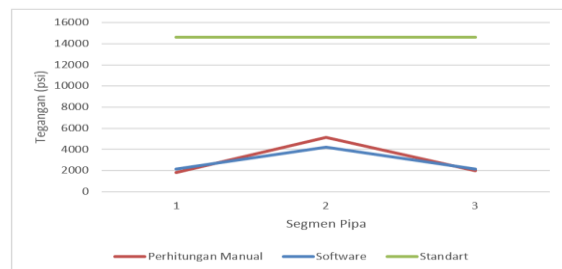
Jadi untuk pemilihan *support* yang sesuai standart teknis adalah menggunakan *contains spring hanger* 1 unit dan *guide support* dengan arah gaya Y dan Z sebanyak 2 unit. Dengan jarak minimal 102.36 in.

#### 4.3 Sustained load

| Segmen | Manual (psi) | Software (psi) | Standart (psi) | $\epsilon_a$   (%) | Kriteria |
|--------|--------------|----------------|----------------|--------------------|----------|
| 1      | 1277.81      | 2316.9         | 12700          | 10.39              | Acc      |
| 2      | 4552.62      | 4099.1         | 12700          | 4.53               | Acc      |
| 3      | 1465.23      | 3255.9         | 12700          | 17.9               | Acc      |



Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai tegangan terbesar terjadi pada segmen 2 dengan nilai 4099.1 psi untuk perhitungan software dan 4552.62 psi pada perhitungan manual. Tegangan ini terjadi karena moment bending pada segmen tersebut sebesar 37805,13lb.in. dikarenakan 2 elbow yang terpasang pada segmen menambah gaya ke arah sumbu Y-. Untuk nilai tegangan terkecil terjadi pada segmen 1 dengan nilai 1277.81 psi pada manual dan 2316.9 pada software. Hal ini dikarenakan beban terbesar senilai 89.28 lb pada segmen tersebut



ditahan oleh anchor yang kemudian diteruskan oleh support di ujung segmen..

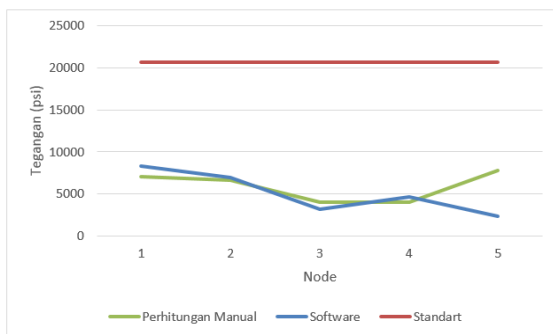
#### 4.4 Occasional Load

| Segmen | Manual (psi) | Software (psi) | Standart (psi) | $\epsilon_a$   (%) | Kriteria |
|--------|--------------|----------------|----------------|--------------------|----------|
| 1      | 1835.71      | 2146.7         | 14605          | 3.1                | Acc      |
| 2      | 5130.12      | 4221.2         | 14605          | 9                  | Acc      |
| 3      | 2002.44      | 2141.2         | 14605          | 1.3                | Acc      |

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa tegangan *occasional load* merupakan penjumlahan dari tegangan *sustained load* ditambah dengan beban gempa. Sehingga grafik yang terbentuk hampir sama dengan tegangan *sustained load*. Nilai selisih terendah yang terjadi pada segmen 3 dengan hasil perhitungan manual sebesar 2002.44 psi dan *software* 2141.2 psi, sedangkan selisih tertinggi berada pada segmen 2 dengan hasil perhitungan manual 5130.12 psi dan hasil *software* 4221.2 psi. Untuk perbedaan selisih tegangan antara perhitungan manual dan *software* disebabkan karena perbedaan metode, untuk perhitungan manual *occasional load* akibat beban gempa menggunakan metode *simple beam formula and response spectrum* sedangkan pada *software* CAESAR II 5.1 menggunakan metode *finite element analysis*.

Untuk hasil perhitungan nilai tertinggi yang terjadi pada segmen 2 dengan hasil perhitungan manual 5130.12 psi dan hasil *software* 4221.2 psi, tingginya nilai tegangan diakibatkan dari jarak antar *support* yang jauh sehingga menyebabkan nilai tegangan akibat beban gempa menjadi besar.

#### 4.5 Thermal load



| Node | Manual (psi) | Software (psi) | Standart (psi) | $ e_a $ (%) | Kriteria |
|------|--------------|----------------|----------------|-------------|----------|
| 1    | 7041.47      | 8314.5         | 20675          | 1.2         | Acc      |
| 2    | 6639.6       | 6940.1         | 20675          | 0.3         | Acc      |
| 3    | 4050.71      | 3142.9         | 20675          | 0.9         | Acc      |
| 4    | 4070.02      | 4656.7         | 20675          | 0.5         | Acc      |
| 5    | 7753.4       | 2359.5         | 20675          | 5.3         | Acc      |

- dan hasil *running software* sebesar 2316.9 psi.
- Semua nilai tegangan diatas masih berada dibawah tegangan ijin sebesar 12700 psi sesuai standart ASME B31.1 dan dinilai aman untuk beroperasi.
- Nilai tegangan tertinggi *occasional load* akibat beban gempa berdasarkan perhitungan manual terjadi pada segmen 2 dengan nilai sebesar

Dari tabel dan grafik di atas dapat diketahui bahwa besarnya tegangan terbesar akibat beban thermal terdapat pada node 1 sebesar 7041.47 psi. Hal ini disebabkan karena segmen pada node tersebut menerima gaya searah sumbu X- (axial pipa) sebesar 313.67 lb. Gaya ini tertahan oleh anchor di ujung segmen yang mengakibatkan besarnya nilai tegangan pada titik tersebut. Sedangkan tegangan terkecil berada pada node 3 sebesar 4070.02 psi. Hal ini disebabkan karena momen pada segmen tersebut dipengaruhi oleh gaya searah sumbu Y- dengan nilai 509.32 lb dan mempunyai lengan dari titik centroid sebesar 0.06 ft. nilai tersebut relative kecil dibandingkan dengan node yang lain. Perbedaan selisih antara perhitungan manual dan *software* di karenakan pada perhitungan manual menggunakan metode *free body analisis* sedangkan pada *software* CAESAR II menggunakan metode *finite element metode (FEM)*.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Untuk pemilihan *support* yang sesuai standart teknis adalah menggunakan *contains spring hanger* 1 unit dan *guide support* dengan arah gaya Y dan Z sebanyak 2 unit. Dengan jarak minimal 102.36 in.
- Untuk ketebalan insulasi yang digunakan adalah 3,937 in dengan menggunakan jenis insulasi *calcium silicate*
- Nilai tegangan tertinggi akibat *sustained load* pada hasil perhitungan manual terjadi pada segmen 2 sebesar 4552.62 psi dan hasil *running software* sebesar 4099.1 psi. Sedangkan nilai tegangan terendah terjadi pada segmen 1 dengan hasil perhitungan manual sebesar 1277,88psi

5130,12 psi dan pada perhitungan *software* sebesar 4221.2 psi. Sedangkan nilai tegangan terendah terjadi pada segmen 1 dengan nilai sebesar 1835,17 psi pada perhitungan manual dan 2146.7 psi pada perhitungan *software*. Semua nilai tegangan diatas masih berada dibawah tegangan ijin sebesar 14605 psi sesuai

- standart ASME B31.1 dan dinilai aman untuk beroperasi.
7. Nilai tegangan tertinggi akibat thermal ekspansi terjadi pada node 1 dengan hasil perhitungan manual sebesar 7041.47 psi dan hasil *running software* sebesar 8314.5 psi. Sedangkan nilai tegangan terendah terjadi pada node 3 dengan perhitungan manual sebesar 4070.02 psi dan hasil *running software* sebesar 3142.9 psi. Semua nilai tegangan diatas masih berada dibawah tegangan ijin sebesar 20675 psi sesuai standart ASME B31.1 dan dinilai aman untuk beroperasi.

## 5.2 SARAN

Dari tugas akhir ini terdapat beberapa usulan dan masukan untuk dilakukan pada riset selanjutnya antara lain:

1. Perhitungan kerugian panas insulasi hanya dilakukan dengan perhitungan manual. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan analisa *software* sebagai perbandingan.
2. Untuk nilai ekspansi thermal metode yang digunakan dapat diambil dari referensi lain selain ITT Grinnel. Seperti referensi karangan MW kellogg sebagai pembanding.

## 6. PUSTAKA

- [1] ASME (2014). Power Piping, ASME Code for Pressure Piping, B31. The American Society of Mechanical Engineering, USA.
- [2] ASME (2007). An International Code, 2007 *ASME Boiler and Pressure Vessel. Code, Section II Part A, Ferrous Material Specifications (Beginning to SA-450) Material*. The American Society of Mechanical Engineering, U.S.A.
- [3] Engineer, A. S. (2010). *ASME B31.1 Power Piping*. New York: American Society of Mechanical Engineer.
- [4] ASM International handbook committee (2005). *Properties and Selection; Irons, Steels and High Performance Alloy 10th edition*, U.S.A.
- [5] Basavaraju, C and Saifung Sun, William. (2000). *Stress Analysis of Piping Systems – Piping Handbook*. McGraw Hill Companies Inc., U.S.A.
- [6] Chamsudi, Achmad. (2005). *Piping Stress Analysis*. Badan Tenaga Nuklir Nasional PUSPITEK, Serpong
- [7] Kannappan, Sam. (1986). *Introduction to Pipe Stress Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.
- [8] Smith, R. Paul and Van Laan, Thomas. (1987). *Piping and Pipe Support System – Piping Handbook*. McGraw Hill Companies Inc., U.S.A.
- [9] Grinnel ITT (1981), *Piping Design and Engineering*, ITT Grinnel Corporation, U.S.A.

Halaman Ini sengaja Dikosongkan