



## Analisis Tegangan Sistem Perpipaan *Cold Reheat Boiler* Berkapasitas 2300 Ton/Jam Pada Kondisi Tidak Operasi

Pekik Mahardhika<sup>1\*</sup>, Adi Wirawan Husodo<sup>1</sup>, Ekky Nur Budiyanto<sup>1</sup>, Benedicta Dian Alfanda<sup>1</sup>,  
Rina Sandora<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, , Jl. Teknik Kimia, ITS,  
Sukolilo, 60111, Indonesia

**Abstrak.** Salah satu pembangkit listrik bertenaga uap terbesar di Jawa Timur menggunakan 3 (tiga) unit boiler dengan kapasitas masing-masing sebesar 2300 ton/h untuk mendukung fungsinya. Pada akhir tahun 2023 salah satu unit boiler (Unit-7) dilakukan shut-down untuk melakukan kegiatan perawatan. Perawatan pada sistem perpipaan dilakukan pengecekan terhadap kemungkinan pengurangan ketebalan pipa dan pengecekan terhadap posisi elevasi pipa ketika kondisi tidak beroperasi (*cold condition*). Salah satu sistem perpipaan pada unit 7 adalah *Cold Reheat Pipe* (CRP). Analisa tegangan pada sistem perpipaan perlu dilakukan dan menjadi satu kesatuan kegiatan proses pengecekan sistem perpipaan berguna untuk mengetahui apakah dalam kondisi tanpa operasi (*cold condition*) masih memenuhi kriteria ASME B31.1 (dikatakan aman) atau tidak. Tahapan penelitian ini meliputi pemodelan & simulasi tegangan pipa menggunakan *stress analysis software* kondisi tanpa operasi (*cold condition*) dan disesuaikan dengan kriteria penerimaan ASME B31.1. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa seluruh tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan CRP BS 130 dan CRP BS 131 lebih rendah dari tegangan izin. Disimpulkan bahwa sistem perpipaan dalam kondisi tidak beroperasi aman bahkan pada ketebalan pipa yang ada.

**Kata kunci:** Analisa tegangan perpipaan, ASME B31.1, Boiler, Cold condition, Cold reheat pipe

**Abstract.** One of the largest steam-powered power plants in East Java uses 3 (three) boiler units with a capacity of 2300 tons/h each to support its functions. At the end of 2023, one of the boiler units (Unit-7) will be shut down to carry out maintenance activities. Maintenance of the piping system is carried out by checking the possibility of reducing the thickness of the pipe and checking the elevation position of the pipe when it is not operating (*cold condition*). One of the piping systems in unit 7 is the Cold Reheat Pipe (CRP). Stress analysis in the piping system needs to be carried out and is part of the process of checking the piping system, which is useful for finding out whether in cold conditions it still comply the ASME B31.1 criteria (said to be safe) or not. The stages of this research include modeling & simulating pipe stress using stress analysis software in cold conditions and adjusted to ASME B31.1 acceptance criteria. The simulation results show that all stresses that occur in the CRP BS 130 and CRP BS 131 piping systems are lower than the allowable stress. It was concluded that the piping system in non-operating condition was safe even at the existing pipe thickness.

**Keywords:** Piping Stress Analysis, ASME B31.1, Boiler, Cold Condition, Cold Reheat Pipe

## 1. Pendahuluan

Salah satu pembangkit listrik bertenaga uap terbesar di Jawa Timur menggunakan 3 (tiga) unit boiler dengan kapasitas masing-masing sebesar 2300 Ton/jam untuk mendukung fungsinya. Boiler adalah alat yang memiliki fungsi untuk menghasilkan uap atau panas yang diperlukan dalam berbagai industri (PGN LNG Indonesia, 2023). Pada akhir tahun 2023 salah satu unit boiler (Unit-7) dilakukan shut-down untuk melakukan kegiatan perawatan. Perusahaan pembangkit listrik ini mempunyai komitmen yang baik tentang perawatan terhadap seluruh peralatan yang ada. Khusus boiler Unit-7 ini saja sudah beberapa kali dilakukan perawatan rutin semenjak beroperasi pada tahun 1999, seperti pada tahun 2007, 2009, 2011, 2013, 2015, 2019, dan 2021. Pada perawatan tahun 2023 ini juga dilakukan terhadap seluruh komponen boiler, dimana salah satu diantaranya adalah perawatan terhadap sistem perpipaan yang ada. Terdapat 4 (empat) sistem perpipaan yang ada pada Unit- 7, yaitu *Main Steam Pipe* (MSP), *Hot Reheat Pipe* (HRP) dan 2 (dua) *Cold Reheat Pipe* (CRP). Perawatan pada sistem perpipaan ditekankan pada pengecekan terhadap kemungkinan pengurangan ketebalan pipa dan pengecekan terhadap posisi elevasi pipa juga pada kondisi tanpa operasi (*cold condition*). Metode yang digunakan untuk mengecek pengurangan ketebalan pipa adalah metode *ultrasonic test* (UT), sedangkan metode yang digunakan untuk mengecek perubahan elevasi sistem perpipaan adalah *3-D scanning*. *Cold Reheat Pipe* (CRP) pada boiler Unit-7 mempunyai ketebalan nominal 0.75” atau 19.05 mm, dengan diameter luar 30” atau 762 mm. Pipa terbuat dari material SA672 grade B65, dengan spesifikasi desain adalah 5.0 MPa (tekanan desain) dan 360 C (temperatur desain). Dari pengukuran ketebalan dengan menggunakan UT diketahui adanya pengurangan ketebalan pipa khususnya pada *Cold Reheat Pipe* (CRP). Pada pengukuran tahun 2021, rentang ketebalan pipa CRP hasil pengurangan berkisar antara 16.82 mm - 18.83 mm untuk CRP BS-130 dan 17.21 mm - 18.62 mm untuk CRP BS-131.

## 2. Tinjauan Pustaka

Analisa tegangan perlu dilakukan untuk menjamin bahwa sistem perpipaan yang didesain mempunyai kekuatan dan fleksibilitas (Aswin; Ahmad Hasnan, 2023). Disamping itu analisa tegangan juga perlu dilakukan pada sistem perpipaan yang tergolong dalam jalur kritis (*critical line*) (Ade Widiyanto Sulaiman; Adi Wirawan Husodo ; Ekky Nur Budiyo, 2023). Analisa tegangan juga perlu dilakukan pada suatu sistem perpipaan jika pada sistem perpipaan tersebut telah mengalami degradasi spesifikasi, seperti akibat pengurangan ketebalan pipa (deteriorasi), dan akibat adanya kesalahan pada proses instalasi peralatan penunjang. Korosi menjadi salah satu sebab utama suatu sistem perpipaan mengalami *metal loss*. Bahkan korosi (internal ataupun eksternal) menjadi penyebab kegagalan utama pada suatu sistem perpipaan, utamanya pipa minyak dan gas (Thibankumar Arumugam; Saravanan Karuppanan; Mark Ovinis, 2020). Pastinya di unit proses boiler terdapat sistem perpipaan. Sistem perpipaan merupakan media yang digunakan untuk membawa, mendistribusikan, mencampur, memisahkan, melepaskan, mengukur, mengontrol atau mengecek aliran fluida, serta mentransmisikan tekanan fluida (ASME, 2018). Desain sistem perpipaan pasti mengalami tegangan yang disebabkan oleh efek termal dan tekanan (Pekik Mahardhika, Adi Wirawan Husodo, George Endri Kusuma, R. Dimas Endro Witjonarko, Ekky Nur Budiyo, 2021). Analisa tegangan merupakan metode terpenting untuk meyakinkan dan menetapkan secara numerik bahwa sistem perpipaan dalam *engineering* adalah aman (Chamsudi, 2005). Dalam proses desain sistem perpipaan perlu dilakukan analisa tegangan statis atau dinamis untuk menjamin keamanan desain dan operasional pipa (Mahardhika, 2018). Jika tegangan

yang terjadi melebihi tegangan yang diijinkan *code* maka bisa terjadi deformasi pipa ataukah kegagalan sistem perpipaan (Mahardhika et al., 2018). Tegangan dalam desain pada suatu sistem perpipaan harus dirancang agar mampu menahan beban yang terjadi (Hasan et al., 2017). Nilai-nilai tegangan yang terjadi memenuhi dalam hal kriteria aman menurut *code* (A. W. Husodo, P. Mahardhika, and V. V. V. A, 2019).

Suatu sistem perpipaan perlu dilakukan analisa tegangan yang disebabkan oleh beberapa jenis beban seperti: beban sustain (*sustained load*), beban okasi (*occasional load*) dan beban akibat ekspansi panas (*thermal expansion*) (ASME, 2018). Tegangan diakibatkan oleh beban sustain (*sustained load*) merupakan beban total dari *longitudinal stress* yang diakibatkan oleh tekanan dan berat pada sistem. Sehingga dapat dikatakan istilah lain dari tegangan akibat beban sustain adalah tegangan longitudinal (*longitudinal stress*), yang meliputi *longitudinal sustained weight stress* dan *longitudinal pressure stress*.

$$\text{Tegangan akibat beban sustain: } Sls = \frac{P \cdot Do}{4t_n} + \frac{0.75 \cdot iMA}{Z} \leq 1.0 Sh \dots\dots\dots (1)$$

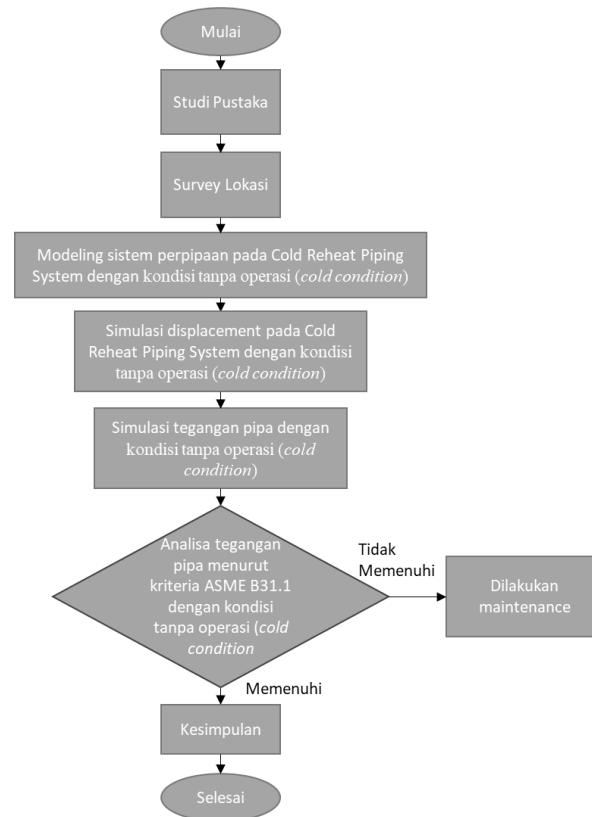
$$\text{Tegangan akibat beban ekspansi (beban termal): } Se = \frac{iMc}{Z} \leq Sa + f (Sh - Sl) \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- P = Tekanan Internal Dalam (psi)
- Do = Diameter Luar Pipa (inch)
- tn = Tebal Nominal Pipa (inch)
- Z = Momen inersia (inch<sup>4</sup>)
- Sh = *Basic Allowable Stress* (psi)
- Se = Tegangan Akibat beban termal (psi)
- Sls = Tegangan Akibat beban sustain (psi)

### 3. Metode

Metodologi penelitian adalah tahapan pengerjaan suatu penelitian, agar dapat memperoleh hasil yang baik untuk mencapai tujuan penelitian yang direncanakan. Objek penelitian ini adalah sistem perpipaan pada *Cold Reheat Pipe* (CRP) boiler berkapasitas 2300 Ton/jam pada kondisi desain dan kondisi operasi. Tahapan pengerjaan penelitian ini meliputi pemodelan & simulasi tegangan serta *displacement* pipa menggunakan *stress analysis software* kondisi tanpa operasi (*cold condition*). Kemudian nilai tegangan kondisi tanpa operasi (*cold condition*) yang sudah disimulasi disesuaikan dengan kriteria penerimaan ASME B31.1. Kriteria penerimaan ini merupakan acuan atau dasar yang digunakan untuk memastikan keselamatan dan keamanan sistem perpipaan sesuai dengan peraturan. Tahapan pengerjaan ditampilkan pada diagram alir berikut ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

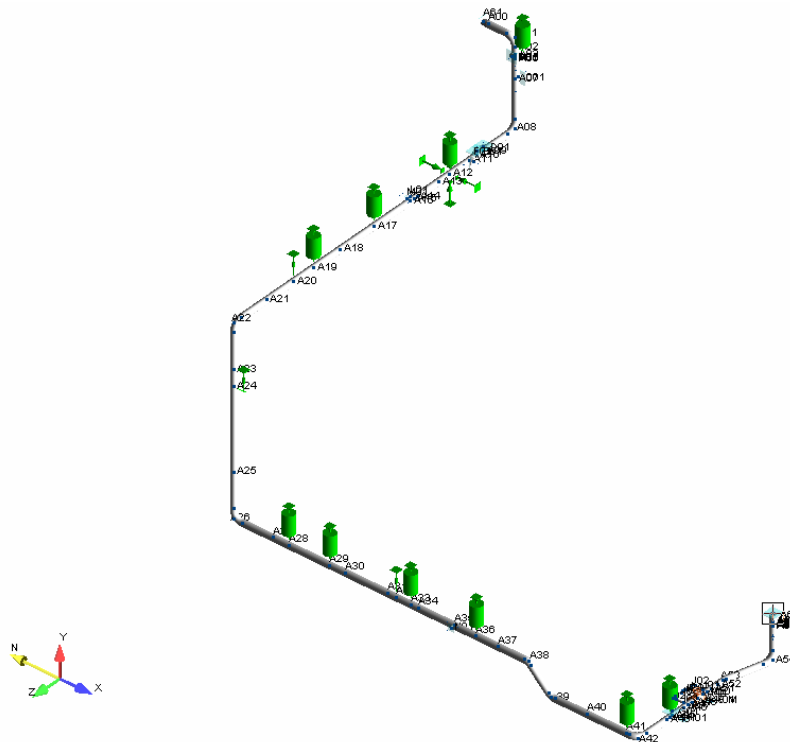
Data pendukung pada penelitian ini adalah gambar isometri jalur perpipaan *Cold Reheat Piping System*, data design, serta data operasinya. Keterangan berikut nantinya merupakan beban kombinasi yang diterapkan pada penelitian ini:

- *CASE-1 SUS* : (GR + P1). Tegangan akibat beban sustain
- *CASE-1 HOOP* : Max P. Tegangan *Hoop*
- *CASE-1 EXP* : Amb to T1. Tegangan akibat beban ekspansi/ termal

#### 4. Hasil dan Pembahasan

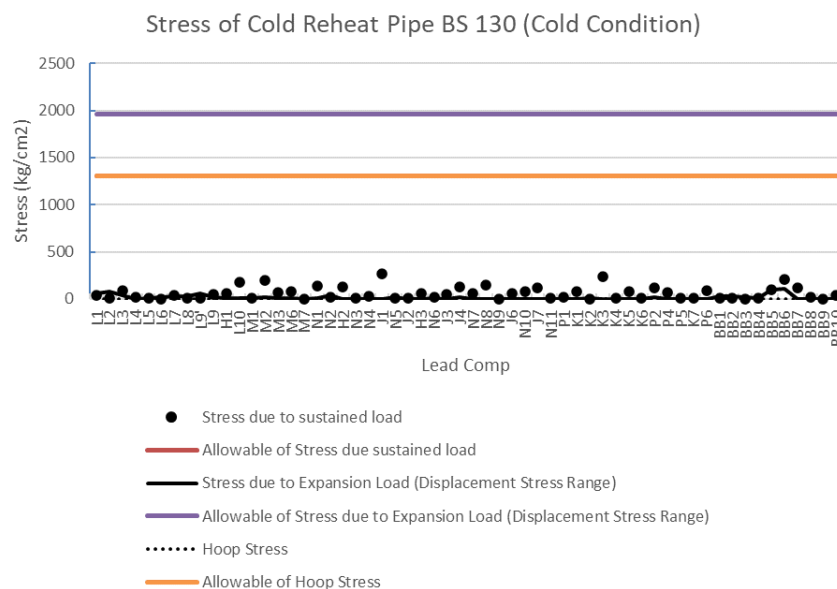
##### 4.1. Analisa Tegangan Pada Jalur CRP BS 130

Pada gambar 2 menunjukkan gambar sistem perpipaan jalur CRP 130 dalam bentuk 3D modeling.



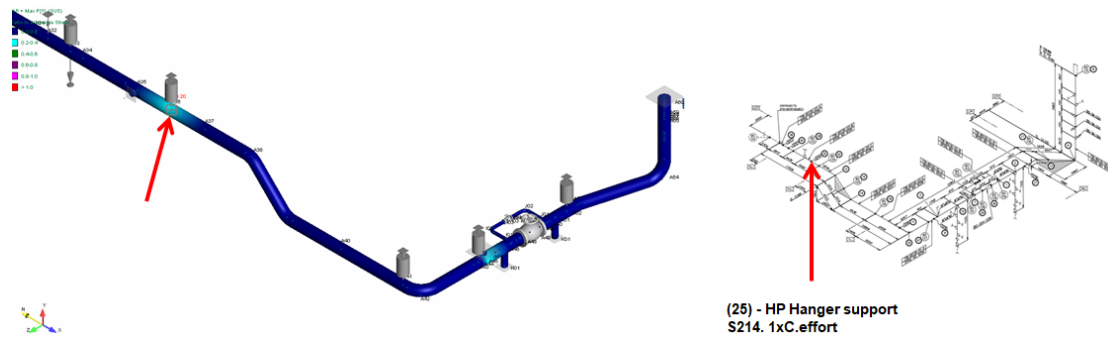
Gambar 2. Modeling CRP BS 130

Karakteristik tegangan sistem perpipaan CRP BS 130 pada kondisi tidak beroperasi ditunjukkan pada Gambar 3. Semua jenis tegangan, tegangan akibat beban sustain, tegangan akibat beban termal, dan tegangan hoop di bawah tegangan ijinnya.



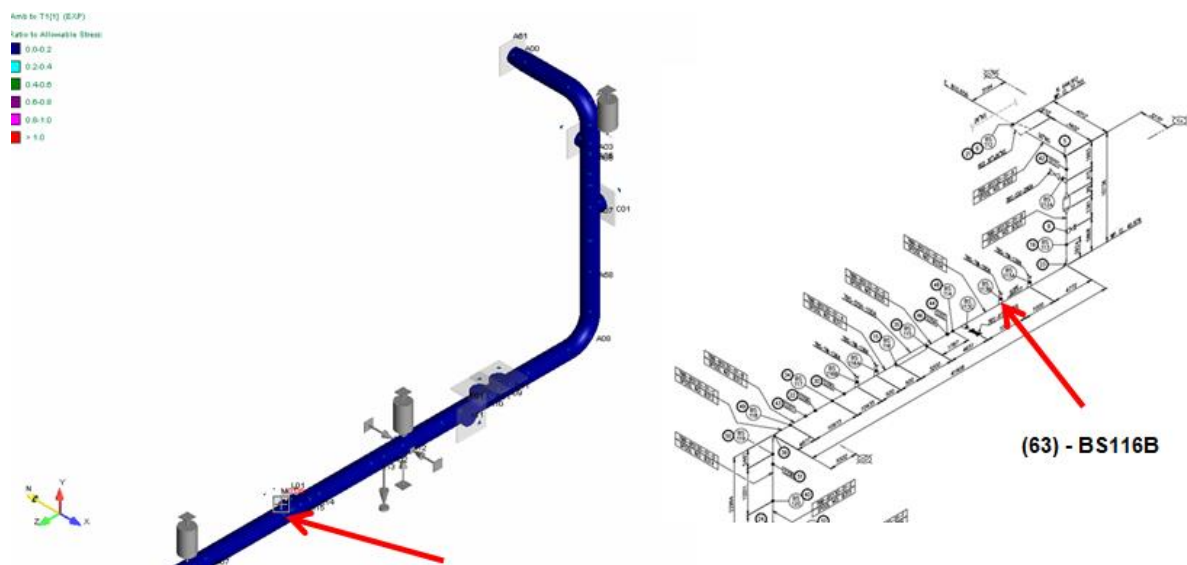
Gambar 3. Distribusi Tegangan Pada CRP BS 130

Kontur tegangan akibat beban sustain ditunjukkan pada Gambar 4. Besaran tegangan akibat beban sustain berkisar antara  $0,0 \text{ kg/cm}^2$  sampai dengan  $263,2 \text{ kg/cm}^2$ . Tegangan ini lebih rendah dari tegangan akibat beban sustain yang diijinkan ( $1307,7 \text{ kg/cm}^2$ ). Tegangan maksimum akibat beban sustain ( $263,2 \text{ kg/cm}^2$ ) terletak pada *Lead Component* J1 (*Hanger Support S214.1xC.effort*).



Gambar 4. Kontur Tegangan Akibat Beban Sustain Pada CRP BS130 Dengan Kondisi Tidak Beroperasi

Besarnya tegangan akibat beban termal dijelaskan pada Gambar 5. Besarnya tegangan akibat beban termal berkisar antara  $0,0 \text{ kg/cm}^2$  sampai dengan  $112,8 \text{ kg/cm}^2$ . Tegangan tersebut lebih rendah dari tegangan termal yang diijinkan ( $1961,6 \text{ kg/cm}^2$ ). Tegangan maksimum akibat beban termal ( $112,8 \text{ kg/cm}^2$ ) terletak pada *Lead Component* BB6 (BS116B).



Gambar 5. Kontur Tegangan Akibat Beban Termal Pada CRP BS130 Dengan Kondisi Tidak Beroperasi

Besarnya tegangan *hoop* tidak dijelaskan dalam bentuk gambar. Pada kondisi tidak beroperasi tidak terjadi tegangan *hoop* pada sistem perpipaan karena tidak adanya tekanan di dalam yang mempengaruhi dinding-dinding pipa.

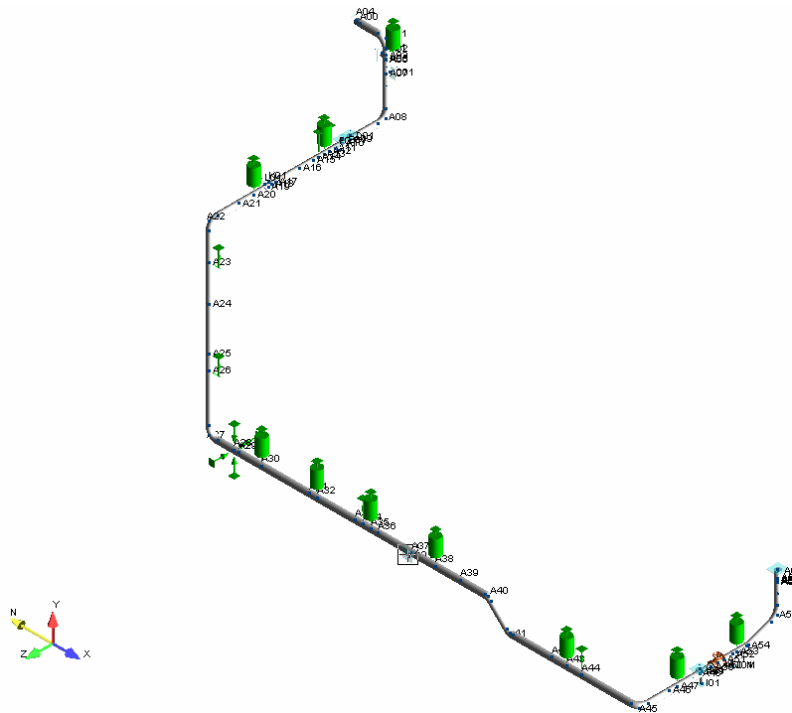
Resume tegangan maksimum sistem perpipaan CRP BS-130 pada kondisi tidak beroperasi ditunjukkan pada Tabel 1. Dari hasil tersebut seluruh tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan CRP BS 130 lebih rendah dari tegangan izin.

Tabel 1. Tegangan Pada Jalur CRP BS 130 Pada Kondisi Tidak Beroperasi (*Cold Condition*)

| Load Case  | Jenis Tegangan                    | Lead Component                                | Tegangan Code (kg/cm <sup>2</sup> ) | Tegangan Ijin (kg/cm <sup>2</sup> ) | Rasio | Note     |
|------------|-----------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|----------|
| GR + Max P | Max Tegangan Akibat Beban Sustain | J1 ( <i>Hanger Support S214. 1xC.effort</i> ) | 263,2                               | 1307,7                              | 0,20  | Diterima |
| T1 to T2   | Max Tegangan Akibat Beban Termal  | BB6 (BS116B)                                  | 112,8                               | 1961,6                              | 0,06  | Diterima |
| Max P      | Max Tegangan Hoop                 | -   | 0                                   | 1307,7                              | 0     | Diterima |

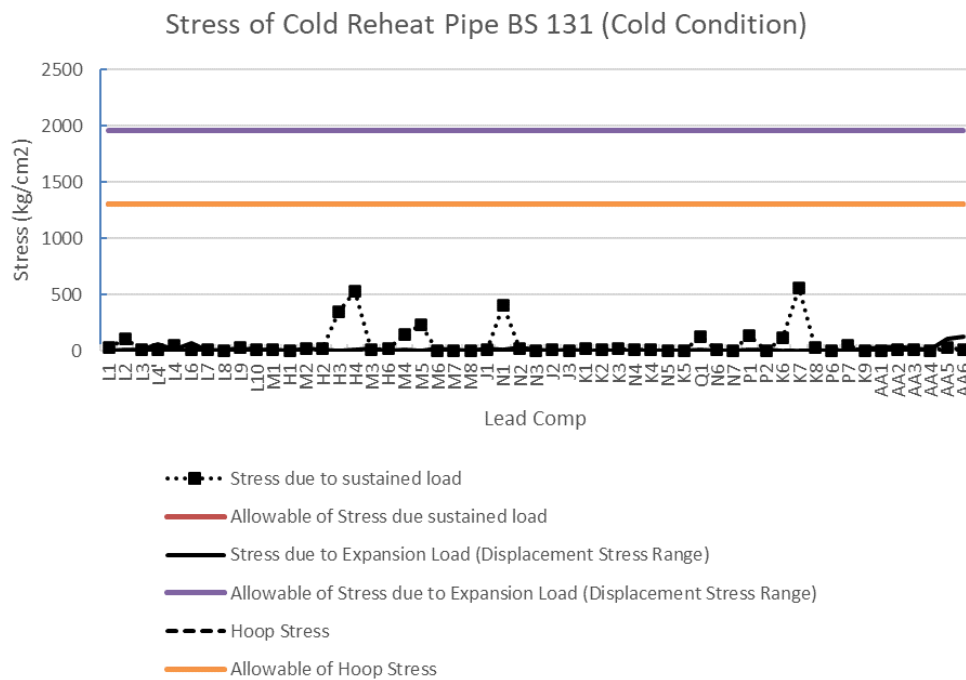
#### 4.2 Analisa Tegangan Pada Jalur CRP BS 131

Pada Gambar 6 menunjukkan sistem perpipaan jalur CRP 131 dalam bentuk 3d modeling.



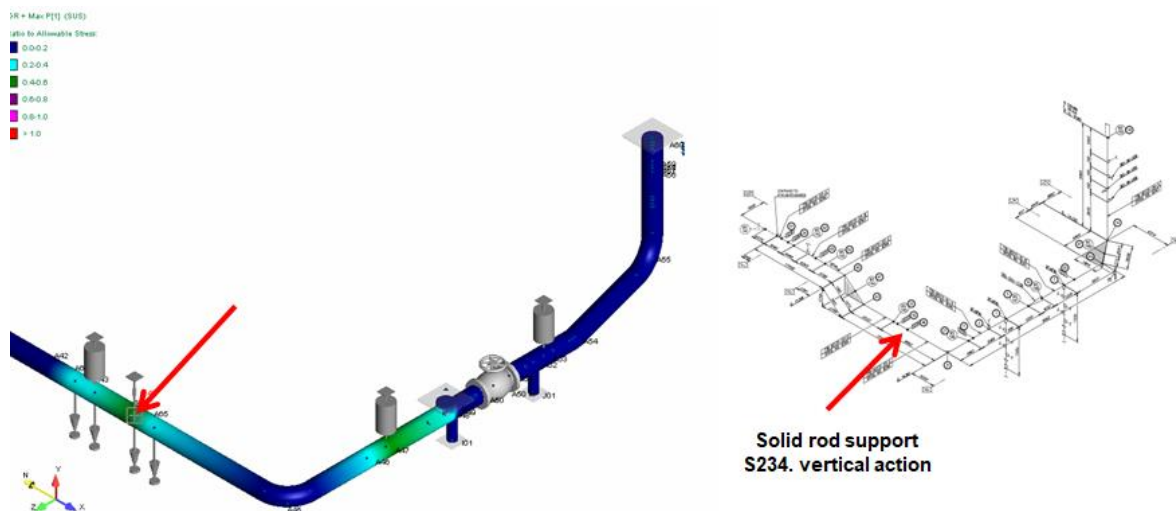
Gambar 6. Modeling CRP BS 131

Karakteristik tegangan sistem perpipaan CRP BS 131 pada kondisi tidak beroperasi ditunjukkan pada Gambar 7. Semua jenis tegangan, tegangan akibat beban sustain, tegangan akibat beban termal, dan tegangan hoop di bawah tegangan ijinnya.



**Gambar 7.** Distribusi Tegangan Pada CRP BS 131

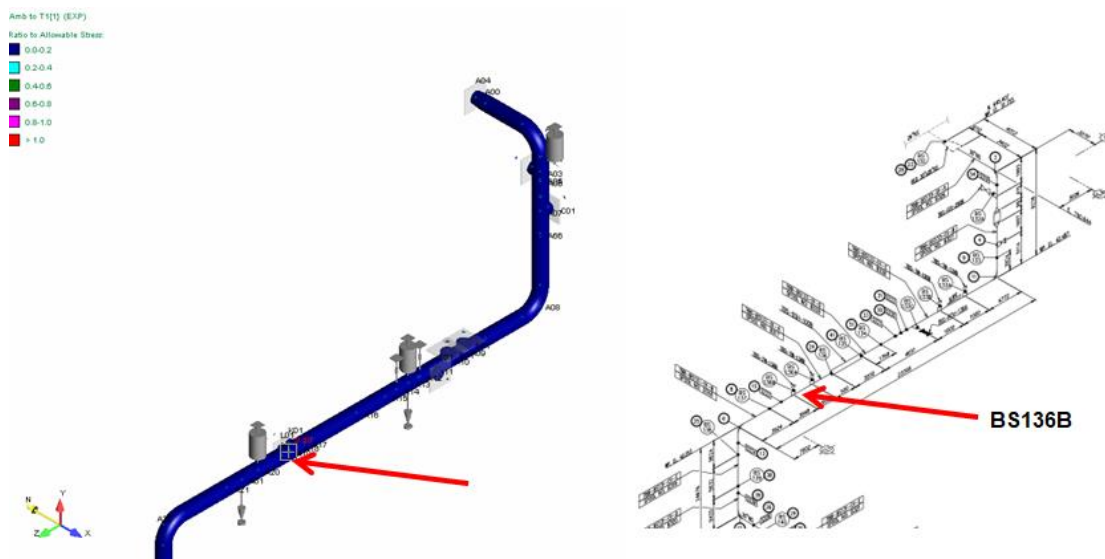
Kontur tegangan akibat beban sustain ditunjukkan pada Gambar 8. Besaran tegangan akibat beban sustain berkisar antara 0,90 kg/cm<sup>2</sup> sampai dengan 556,6 kg/cm<sup>2</sup>. Tegangan ini lebih rendah dari tegangan sustain yang diijinkan (1307,7 kg/cm<sup>2</sup>). Tegangan maksimum akibat beban sustain (556,6 kg/cm<sup>2</sup>) terletak pada *Lead Component K7 (Solid rod support S234. Vertical action)*.



**Gambar 8.** Kontur Tegangan Akibat Beban Sustain Pada CRP BS131 Dengan Kondisi Tidak Beroperasi



Besarnya tegangan akibat beban termal dijelaskan pada Gambar 9. Besarnya tegangan akibat beban muai berkisar antara  $0,40 \text{ kg/cm}^2$  sampai dengan  $123,5 \text{ kg/cm}^2$ . Tegangan tersebut lebih rendah dari tegangan akibat termal yang diijinkan ( $1961,6 \text{ kg/cm}^2$ ). Tegangan maksimum akibat beban muai ( $123,5 \text{ kg/cm}^2$ ) terletak pada *Lead Component* AA6 (BS136B).



**Gambar 9.** Kontur Tegangan Akibat Beban Termal Pada CRP BS131 Dengan Kondisi Tidak Beroperasi

Besarnya tegangan *hoop* tidak dijelaskan dalam bentuk gambar karena pada kondisi tidak beroperasi tidak terjadi tegangan *hoop* pada sistem perpipaan karena tidak adanya tekanan di dalam yang mempengaruhi dinding-dinding pipa.

Resume tegangan maksimum sistem perpipaan CRP BS 131 pada kondisi tidak beroperasi ditunjukkan pada Tabel 2. Dari hasil tersebut seluruh tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan CRP BS 131 lebih rendah dari tegangan izin.

**Tabel 2.** Tegangan Pada Jalur CRP BS 131 Pada Kondisi Tidak Beroperasi (*Cold Condition*)

| Load Case  | Tipe Tegangan                     | Lead Component  | Tegangan Code ( $\text{kg/cm}^2$ ) | Tegangan Ijin ( $\text{kg/cm}^2$ ) | Rasio | Note     |
|------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|-------|----------|
| GR + Max P | Max Tegangan Akibat Beban Sustain | K7 ( <i>Solid rod support S234. Vertical action</i> ) | 556,6                              | 1307,7                             | 0,43  | Diterima |
| T1 to T2   | Max Tegangan Akibat Beban Termal  | AA6 (BS136B)  | 123,5                              | 1961,6                             | 0,06  | Diterima |
| Max P      | Max Tegangan Hoop                 | -   | 0                                  | 1307,7                             | 0     | Diterima |

## 5. Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah pada jalur CRP BS 130 untuk tegangan maksimum akibat beban sustain (*cold condition*) sebesar  $263,2 \text{ kg/cm}^2$  pada *lead component* J1

(*Hanger Support S214. 1xC.effort*). Pada jalur CRP BS 130 untuk tegangan maksimum akibat beban termal (*cold condition*) sebesar 112,8 kg/cm<sup>2</sup> pada *lead component* BB6 (BS116B). Pada jalur CRP BS 130 untuk tegangan maksimum tegangan *hoop* (*cold condition*) tidak ada. Pada jalur CRP BS 131 untuk tegangan maksimum akibat beban sustain (*cold condition*) sebesar 556,6 kg/cm<sup>2</sup> pada *lead component* K7 (*Solid rod support S234. Vertical action*). Pada jalur CRP BS 131 untuk tegangan maksimum akibat beban sustain (*cold condition*) sebesar 123,5 kg/cm<sup>2</sup> pada *lead component* AA6 (BS136B). Pada jalur CRP BS 131 untuk tegangan maksimum tegangan *hoop* (*cold condition*) tidak ada. Tegangan *hoop* di jalur CRP BS 130 dan CRP BS 131 tidak ada. Tegangan *hoop* dipengaruhi oleh tekanan internal dan ketebalan dinding pipa, sehingga semakin tipis dinding pipa dan mendekati *minimum wall thickness* maka nilai tegangan *hoop* semakin besar. Seluruh tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan lebih rendah dari tegangan izin. Disimpulkan bahwa sistem perpipaan dalam kondisi tidak beroperasi (*cold condition*) aman bahkan pada ketebalan pipa yang ada.

## Daftar Pustaka

- A. W. Husodo, P. Mahardhika, and V. V. V. A. (2019). ANALISA FLEKSIBILITAS SISTEM PERPIPAAN PADA FATTY ACID PLANT AKIBAT PERGESERAN POSISI EVAPORATOR. *Jurnal Integrasi*, 11(2), 112–118. <https://doi.org/10.30871/ji.v11i2.1663>
- Ade Widiyanto Sulaiman; Adi Wirawan Husodo ; Ekky Nur Budiyanto. (2023). *Redesign Dan Analisis Tegangan Jalur Pipa High Pressure Hydrogen Pada Project Pembangunan Plant Fatty Alcohol Di Industri Oleochemical Di Gresik*. 8, 112–116. <https://journal.ppns.ac.id/index.php/CPEAA/article/view/2509>
- ASME. (2018). ASME B31.3: Process Piping. In *ASME Code for Pressure Piping*.
- Aswin; Ahmad Hasnan. (2023). STRESS ANALYSIS EVALUATION AND PIPE SUPPORT TYPE ON HIGH-PRESSURE AND TEMPERATURE STEAM PIPE. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies & Applications*, 4(1), 31–38. <https://doi.org/10.21776/MECHTA.2023.004.01.4>.
- Chamsudi, A. (2005). *Diktat-Piping Stress Analysis*. <https://www.scribd.com/document/259036537/Di%0Aktat-Pipe-Stress-Analysis>
- Hasan, M., Santoso, E., & Mahardhika, P. (2017). DESAIN EXPANSION LOOP PADA LINE 116SV203-150-16H20 FATY ACID DESTILATION PT. WILMAR NABATI INDONESIA. *Proceedings Conference on Piping Engineering and Its Application*, 31–36. <http://journal.ppns.ac.id/index.php/CPEAA/article/view/387>
- Mahardhika, P. (2018). Penerapan metode time history untuk fenomena water hammer. *Jurnal Teknologi Maritim*, 1(2), 37–44.
- Mahardhika, P., Julianto, E., Indartono, A., & Kusuma, G. E. (2018). ANALISA 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>
- Pekik Mahardhika, Adi Wirawan Husodo, George Endri Kusuma, R. Dimas Endro Witjonarko, Ekky Nur Budiyanto. (2021). *Analisis Symmetrical dan Nonsymmetrical Vertical Expansion Loop untuk Meningkatkan Fleksibilitas dan Menurunkan Tegangan Pipa Berdasarkan ASME B31.3*. 42(1), 63–70. <https://doi.org/10.14710/teknik.v42i1.29244>
- PGN LNG Indonesia. (2023, November 19). *Fungsi, Komponen, Jenis, dan Cara Kerja Boiler* [Online post]. <https://pgnlng.co.id/berita/wawasan/apa-itu-boiler/>

Thibankumar Arumugam; Saravanan Karuppanan; Mark Ovinis. (2020). Finite element analyses of corroded pipeline with single defect subjected to internal pressure and axial compressive stress. *Marine Structures*, 72, 102746. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2020.102746>