

ANALISA TEGANGAN PIPA PADA SISTEM *BALLAST* KAPAL *TUGBOAT* 24 METER MENGGUNAKAN AUTOPIPE

Hendra Saputra^{1*}, dan Nurzain Miftakhul Jannah¹

¹ Program Studi Teknik Perencanaan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam

*Corresponding author: hendrasaputra@polibatam.ac.id

Article history

Received:

27-06-2021

Accepted:

28-06-2021

Published:

30-06-2021

Copyright © 2021
Jurnal Teknologi dan
Riset Terapan

Open Access

Abstrak

Sistem *ballast* pada kapal, khususnya kapal *tugboat* berfungsi untuk membantu stabilitas kapal sehingga kapal dapat berlayar dalam keadaan yang aman. Pada perencanaan sistem *ballast*, perlu dilakukan analisa tegangan pipa untuk mengetahui apakah pipa yang digunakan aman dan dapat mendukung fungsi sistem sebagaimana mestinya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besaran nilai tegangan *sustained* dan tegangan *hoop* yang terjadi pada sistem pipa *ballast* kapal *tugboat* 24 meter. Pemodelan sistem pipa dan analisa tegangan pipa menggunakan *software* AutoPIPE dan mengacu pada standar ASME B31.3 (*process piping*) sebagai *code standard*. Pada proses pemodelan, keseluruhan jalur pipa *ballast* dibagi menjadi 2 (dua) jalur yaitu Jalur 1 (jalur dari *seachest* hingga ke *water ballast tank*) dan Jalur 2 (jalur dari *water ballast tank* hingga ke *overboard*). *Temperature* yang digunakan dalam analisa adalah sebesar 30°C atau pada suhu air laut normal, sedangkan tekanan kerja sistem *ballast* yang digunakan adalah sebesar 72,52 Psi pada masing-masing jalur pipa. Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan, diketahui besar nilai *sustained stress* dan *hoop stress* yang terjadi pada Jalur 1 masing sebesar 8.466 Psi dan 3.732 Psi dan pada Jalur 2 masing-masing sebesar 7.020 Psi dan 1.328 Psi. Berdasarkan analisa tegangan pipa pada kedua jalur tersebut, diketahui bahwa hasil tegangan yang terjadi pada pipa masih berada di bawah tegangan izin material, di mana nilai tegangan izin material yang digunakan adalah sebesar 20.000 Psi. Secara keseluruhan, baik pada Jalur 1 maupun Jalur 2 memperlihatkan rancangan sistem perpipaan yang digunakan masih aman karena berada nilai tegangan berada di bawah tegangan izin material.

Kata Kunci: sistem *ballast*, tegangan pipa, AutoPIPE, ASME B31.3

Abstract

Ballast system on ship especially on tugboats aims to maintain ship stability and to help the ship sail in safe condition. The design of ballast system, the used of pipe in this system is necessary to do pipe stress analysis to make sure the pipe is safe to support the system. This study aims to analyze the pipe stress happened in the system. The pipe stress analysis focuses on sustained and hoop stress. On this study, we use AutoPIPE software to create the pipe model and to analyze the pipe stress. ASME B31.3 standard (piping process) is used as code standard on pipe stress analysis. For the purpose of pipe modelling, the piping of ballast system is divided into two piping lines. The piping lines No.1 is the line from seachest to water ballast tank and piping line No.2 is line from water ballast tank to overboard. The temperature used in the analysis is 30°C or at normal seawater temperatures, while the working pressure of the ballast system used is 72.52 Psi for each line number. The result of this study shown that the sustained stress and hoop stress that occur in piping line No.1 are 8,466 Psi and 3,732 Psi, respectively and in piping line No.2 are 7,020 Psi and 1,328 Psi, respectively. The result also shown that the pipe stress for both lines are still below the material allowable stress, where the allowable stress of the material is 20,000 Psi.

Keywords: *Ballast system, piping stress, AutoPIPE, ASME B31.3*

1.0 PENDAHULUAN

Sistem *ballast* merupakan salah satu sistem pada kapal yang berfungsi untuk membantu stabilitas kapal. Jika

terjadi kondisi tidak stabil pada kapal seperti kondisi *trim*, *heeling* (kondisi kapal miring) dan pada kondisi *draft* yang kecil karena tidak membawa muatan, maka

sistem *ballast* dapat membantu menstabilkan kondisi kapal dengan cara melakukan pengisian tanki-tanki *ballast* maupun dengan membuat air laut yang ada pada tanki tersebut untuk menjaga titik berat kapal agar berada pada titik yang rendah dan menjaga posisi kapal dalam posisi rata lunas (*even keel*) [1].

Oleh karena itu dibutuhkan sistem perpipaan yang dapat bekerja dengan segala tekanan atau beban saat dilakukannya pengisian dan pembuangan air laut. Maka, pada proses perancangan sistem perpipaan ini (*ballast system*) pipa tidak boleh menghasilkan tegangan yang melebihi tegangan pipa yang diizinkan. Pada analisa tersebut, maka digunakan standar *American Society of Mechanical Engineering* (ASME) sebagai acuan [2].

Pada perpipaan sistem *ballast*, standar ASME B 31.3 (*process piping*) digunakan sebagai acuan dalam melakukan perancangan dan pemilihan komponen yang digunakan dalam sistem perpipaan tersebut. Setelah sistem perpipaan terpasang dan beroperasi, maka akan terjadi tegangan-tegangan pada perpipaan. Tegangan-tegangan yang terjadi di antaranya tegangan akibat beban *sustained* dan tegangan akibat tekanan *internal* secara tangensial (tegangan *Hoop*).

Tegangan *sustained* terjadi disebabkan oleh beban berat pipa dan beban tekanan dalam pipa sedangkan tegangan *hoop* terjadi karena adanya tekanan *internal* yang bekerja secara tangensial dan besarnya bervariasi tergantung pada tebal di dinding pipa [3].

Proses analisa tegangan sistem perpipaan dapat dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga dengan disertai perangkat lunak. Penelitian ini memanfaatkan salah satu perangkat lunak yang dapat melakukan analisa tegangan sistem perpipaan, yaitu dengan menggunakan *software* AutoPIPE [4].

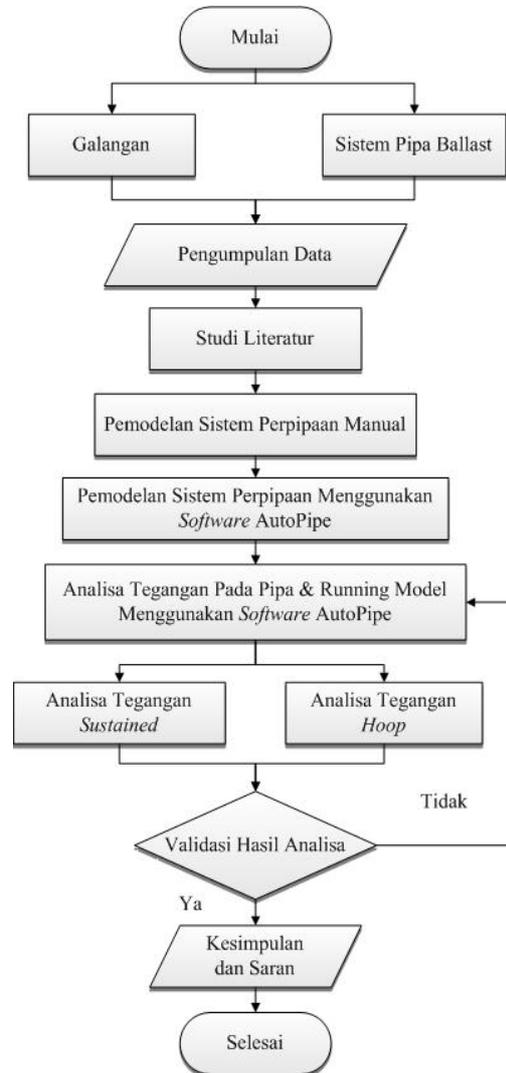
Penggunaan perangkat lunak untuk melakukan analisa tegangan pipa khususnya pada sistem *ballast*, tidak hanya dapat dilakukan menggunakan AutoPIPE tetapi juga dapat dilakukan menggunakan *software* lain seperti ANSYS [5].

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besaran nilai tegangan *sustained* dan tegangan *hoop* yang terjadi pada sistem pipa *ballast* kapal *tugboat* 24 meter. Pemodelan sistem pipa dan analisa tegangan pipa menggunakan *software* AutoPIPE dan mengacu pada standar AMSE B31.3 (*process piping*) sebagai *code standard*. Pada proses pemodelan, keseluruhan jalur pipa *ballast* dibagi menjadi 2 (dua) jalur yaitu Jalur 1 (jalur dari *seachest* hingga ke *water ballast tank*) dan Jalur 2 (jalur dari *water ballast tank* hingga ke *overboard*). *Temperature* yang digunakan dalam analisa adalah sebesar 30°C atau pada suhu air laut normal, sedangkan tekanan kerja sistem *ballast* yang digunakan adalah sebesar 72,52 Psi pada masing-masing jalur pipa.

Pada penelitian ini, analisa tegangan pipa hanya dilakukan pada jenis tegangan *primer* yaitu tegangan akibat beban *sustained* dan tegangan akibat tekanan *internal* secara tangensial (tegangan *Hoop*) karena suhu fluida yang bekerja di dalam pipa berada pada suhu normal air laut.

2.0 METODE

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi beberapa proses. Di antaranya adalah studi literatur, pengumpulan data yang diperlukan, pembuatan sketsa *isometric* jalur pipa *ballast*, pemodelan dan analisa tegangan jalur pipa *ballast* menggunakan *software* AutoPIPE. Proses pengumpulan data dilakukan di PT. Mutiara Jaya Batam yang merupakan salah satu *sub-contractor* PT. ASL Shipyard Indonesia.



Gambar 1: Flowchart Penelitian

2.1. Pengumpulan Data

Pada proses pengumpulan data, dilakukan beberapa tahap yaitu:

1. Pengumpulan data *schematic diagram* sistem *ballast* kapal *tugboat* 24 meter.
2. Wawancara dengan supervisor perusahaan untuk mengetahui jalur pipa pada kapal, material yang digunakan dan komponen aksesoris pipa di sepanjang jalur pipa.
3. Membuat sketsa *isometric* diagram sebagai dasar untuk pemodelan jalur pipa menggunakan *software* AutoPIPE.

Data jalur sistem *ballast* yang digunakan adalah data kapal *tugboat* dengan ukuran utama kapal seperti pada Tabel 1.

Tabel 1: Ukuran Utama Kapal *Tugboat* 24 Meter

Ship type	Dimension
LOA	24 m
Beam	11 m
Depth	2,7 m
Draught	1,7 m

Pada analisa tegangan pipa dalam penelitian ini, jalur pipa *ballast* dibagi menjadi dua jalur utama yaitu:

1. Jalur 1, yaitu jalur pipa *ballast* dari *seachest* menuju ke *ballast tank*.
2. Jalur 2, yaitu jalur pipa *ballast* dari *ballast tank* menuju *overboard*.

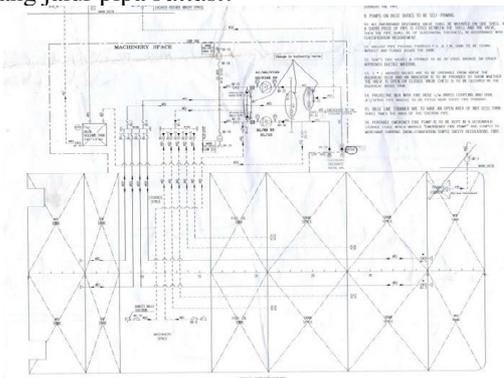
Berdasarkan hasil pengumpulan data, diketahui material pipa yang digunakan adalah *Galvanized JIS G 3442 Grade SGPW* dengan besar tegangan izin sebesar 20.000 psi. Sedangkan *nominal diameter* yang digunakan baik pada Jalur 1 maupun Jalur 2 adalah sebesar 2,5 *inch* dengan ketebalan (*thickness*) pipa sebesar 0,27 *inch*.

Setelah jenis material dan ukuran pipa diketahui, selanjutnya melakukan pengumpulan data aksesoris yang digunakan di sepanjang jalur pipa *ballast*. Komponen aksesoris yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

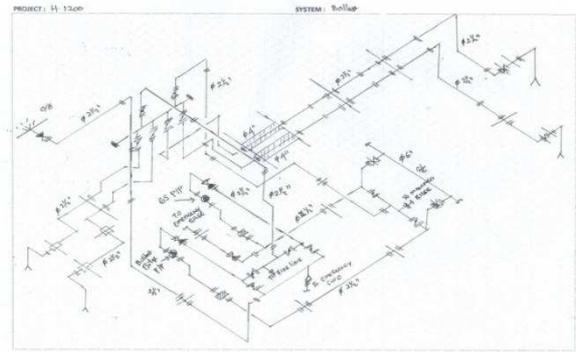
Tabel 2: Aksesoris Pipa *Ballast*

Jalur pipa	Valve	Flange	Support
Jalur 1: <i>Sea Chest – Water Ballast Tank (After)</i>	<i>Butterfly valve</i> (3) <i>Gate valve</i> (1) <i>SDNR valve</i> (1)	<i>Weld Neck</i> (5)	<i>Angle Bar</i>
Jalur 2: <i>Water Ballast Tank (After) – Overboard</i>	<i>Butterfly valve</i> (2) <i>Gate valve</i> (1) <i>SDNR valve</i> (2)	<i>Weld Neck</i> (3)	<i>Angle Bar</i>

Setelah seluruh data diketahui, langkah selanjutnya adalah membuat sketsa *isometric* jalur pipa *ballast*. Penggambaran sketsa isometri dibuat berdasarkan data *schematic diagram* dan data aksesoris yang ada di sepanjang jalur pipa *ballast*.



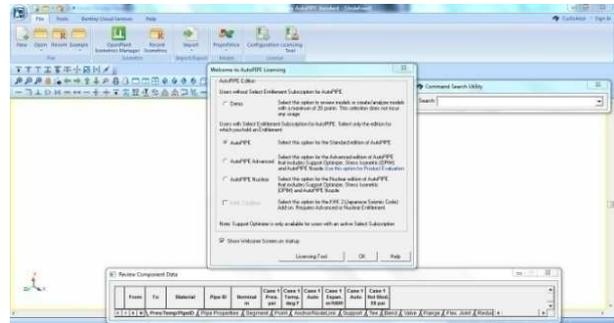
Gambar 2: *Schematic Diagram* Sistem *Ballast*



Gambar 3: Sketsa *Isometric* Jalur Pipa *Ballast*

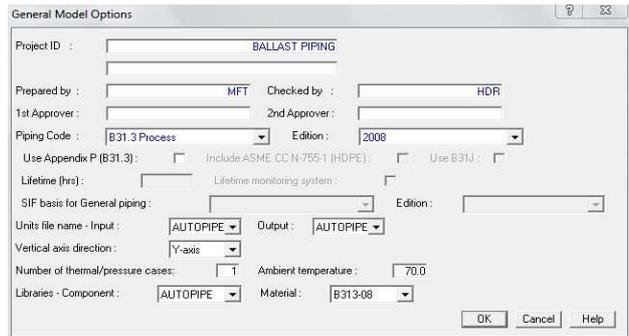
2.2. Pemodelan Jalur Pipa

Pemodelan sistem pipa *ballast* pada penelitian ini menggunakan *software* AutoPIPE. *Software* ini sekaligus digunakan untuk melakukan analisa tegangan yang terjadi pada jalur pipa.



Gambar 4: Tampilan Awal *Software* AutoPIPE

Kode pipa yang digunakan pada input awal pemodelan dengan AutoPIPE adalah ASME B31.3 *process piping* [6].

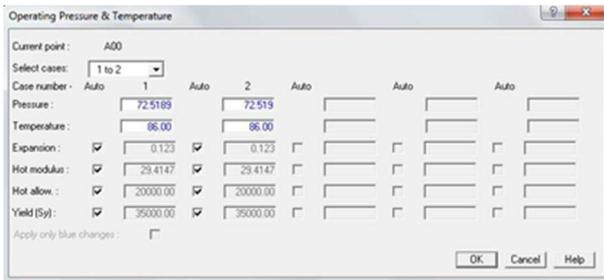


Gambar 5: Input Data *Piping Code* Pada AutoPIPE

Selanjutnya, pada input data *operating pressure & temperature* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

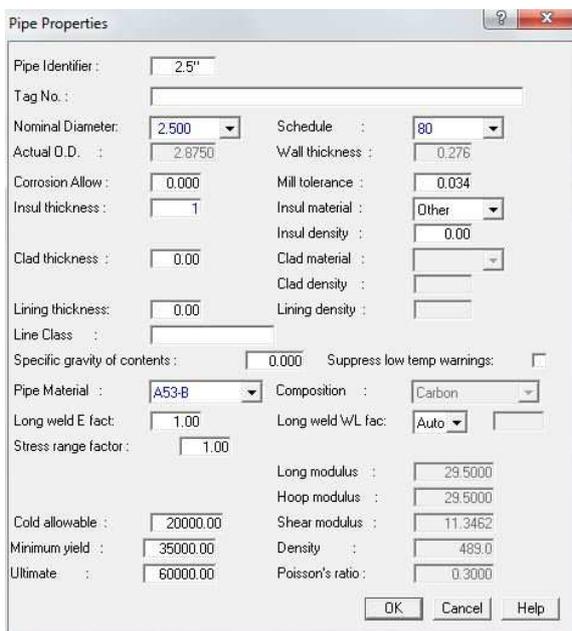
Tabel 3: *Operating Pressure and Temperature*

<i>Operating Pressure and Temperature</i>	
<i>Pressure</i>	72.52 Psi
<i>Temperature</i>	86°F



Gambar 6: *Input Data Operating Pressure & Temperature Pada AutoPIPE*

Pada *input data-data pipa (pipe properties)*, data-data yang perlu di-*input* seperti data *nominal diameter, actual outside diameter, wall thickness, schedule, dan pipe material* didapat dari hasil pengumpulan data yang telah dilakukan sebelumnya.



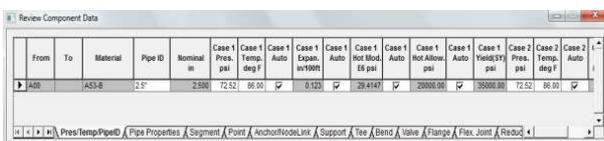
Gambar 7: *Input Data Pipe Properties pada AutoPIPE*

Input data pada *pipe properties* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4: *Data Pipe Properties*

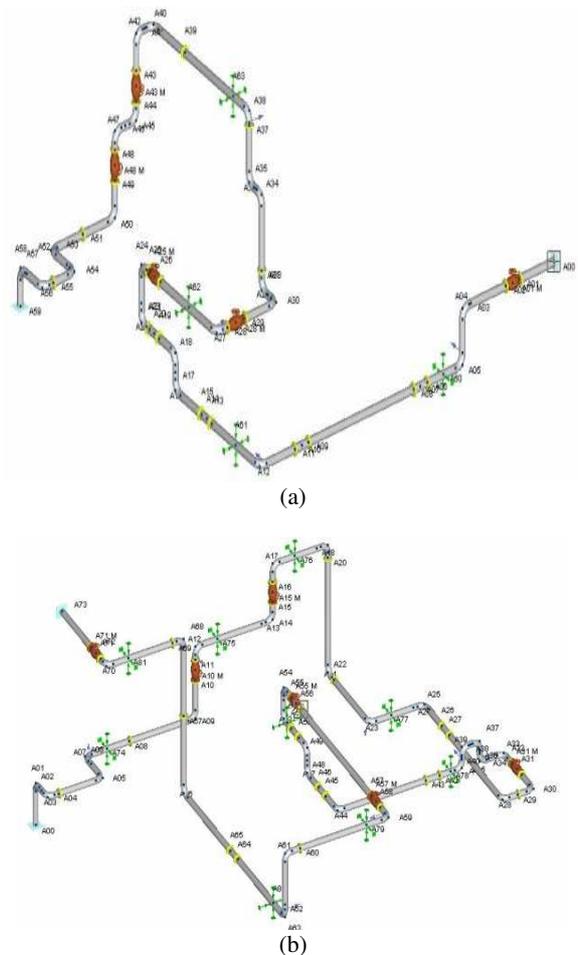
Pipe Properties	
<i>Nominal Diameter</i>	2.5 inch
<i>Actual Outside Diameter</i>	2.875 inch
<i>Wall Thickness</i>	0.276 inch
<i>Schedule</i>	80
<i>Pipe Material</i>	A53-B

Setelah dilakukan pengisian data sesuai dengan data yang diperlukan dan telah dikumpulkan sebelumnya, maka hasil data yang telah diinput tersebut dapat dilihat seperti pada Gambar 8.



Gambar 8: *Review Component Data AutoPIPE*

Setelah semua proses input data pada AutoPIPE dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan pemodelan jalur pipa. Pada proses pemodelan pipa, data-data aksesoris pipa yang telah diidentifikasi pada proses pengumpulan data sebelumnya akan digunakan. Data-data tersebut adalah data katup (*valve*), *flange*, dan jenis *support* yang digunakan di sepanjang jalur pipa. Data-data tersebut harus ditambahkan dengan benar pada saat melakukan proses pemodelan karena akan berpengaruh terhadap hasil analisa tegangan pipa yang akan dilakukan. Hasil pemodelan jalur pipa *ballast* dapat dilihat pada Gambar 9 berikut:



Gambar 9: Hasil Pemodelan Sistem *Ballast* Pada AutoPIPE: (a) Jalur 1, (b) Jalur 2

2.3. Analisa Tegangan Pipa

Terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan pada sistem perpipaan. Faktor-faktor tersebut dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu tegangan utama (*primary stress*) dan *secondary stress* [3].

Tegangan utama (*primary stress*) merupakan jenis tegangan pada sistem perpipaan yang timbul akibat *sustained load*. Kategori *stress* ini dikelompokkan sebagai *stress* yang berbahaya bagi sistem perpipaan karena apabila tegangan yang terjadi melebihi *yield strength* pipa, maka dapat terjadi kegagalan pada material pipa [3]. Kategori tegangan utama (*primary stress*) terdiri dari tegangan longitudinal (*longitudinal stress*) dan tegangan *hoop* (*hoop stress*).

Secondary stress adalah tegangan atau stress yang disebabkan oleh adanya pengaruh temperatur fluida yang mengalir di dalam pipa (*thermal load*) yang dapat menyebabkan terjadinya pemuaian (*expansion*) pada pipa.

Analisa tegangan pipa dalam penelitian ini hanya menganalisa dua jenis stress yaitu tegangan *sustained* dan tegangan *hoop*. Pada perpipaan sistem *ballast* tidak terjadi *thermal load* karena suhu fluida yang bekerja di dalam pipa adalah suhu normal air laut yaitu sebesar 86°F atau 30°C. *Sustained stress* yang dianalisa pada penelitian ini terjadi karena adanya pengaruh dari beban berat pipa dan beban tekanan yang terjadi di dalam pipa. Berdasarkan kode ASME B31.3, persamaan *sustained stress* adalah sebagai berikut [2]:

$$\sigma_D = \frac{F_{ax}}{A_m} + \frac{\sqrt{(i_i \cdot M_i)^2 + (i_o \cdot M_o)^2}}{Z} + \frac{P \cdot d_o}{4 \cdot t} \leq S_h$$

Di mana:

- F_{ax} : gaya aksial karena beban tetap (lb)
- M_i : momen lendutan dalam bidang (*in plane*) karena beban tetap
- M_o : momen lendutan luar bidang (*in plane*) karena beban tetap
- i_i, i_o : faktor intensifikasi (SIF) *in plane* dan *out plane*
- S_h : tegangan dasar yang diizinkan oleh material *Appendiks A* dari ASME B31.3

Tegangan *Hoop* terjadi karena adanya tekanan *internal* yang bekerja secara tangensial dan besar nilainya bervariasi tergantung pada ketebalan pipa yang digunakan, persamaan tegangan *hoop* adalah sebagai berikut [6]:

$$\sigma_{Sh} = \frac{Pd_1L}{2tL} = \frac{Pd_1}{2t} + \frac{Pd_0}{2t}$$

Di mana:

- d_o : Diameter luar pipa (mm)
- P : Tekanan pada pipa (N/mm²)
- T : Tebal pipa (mm)
- σ_{Sh} : tegangan tangensial (*Hoop Stress*)

Analisa tegangan pipa pada penelitian ini hanya fokus pada analisa statis sehingga data yang dihasilkan dalam analisa ini berupa tegangan *sustained* dan tegangan *hoop* pada sistem perpipaan. Besar tegangan yang dihasilkan nantinya akan dibandingkan dengan besar tegangan *allowable stress* material pipa sesuai dengan standar ASME B 31.3 (*process piping*). Sistem perpipaan tersebut akan berada pada titik aman jika menghasilkan nilai rasio kurang dari batas tegangan *allowable stress* yang diizinkan [7].

3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemodelan sistem perpipaan *ballast* dan analisa tegangan pipa pada Jalur 1 dan Jalur 2 yang dilakukan menggunakan AutoPIPE dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6 berikut:

Tabel 5: Hasil Analisa Tegangan Pipa *Ballast* Pada Jalur 1

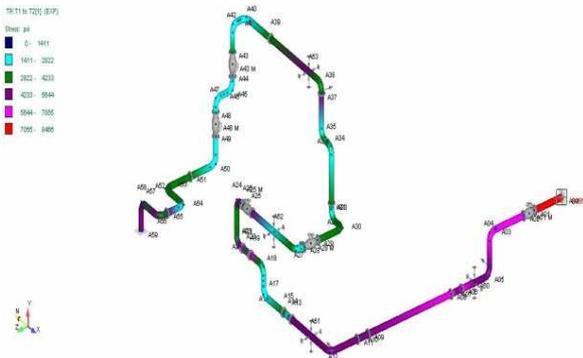
Jenis Tegangan	Titik	Node (ft)	Nilai Tegangan (Psi)
Tegangan <i>Sustained (max)</i>	A01	x : 0.0 y : 0.0 z : 1.64	8466
Tegangan <i>Sustained (min)</i>	A62	x : -4.46 y : 1.00 z : 13.78	626
Tegangan <i>Hoop (max)</i>	A01	x : 0.0 y : 0.0 z : 1.64	3732
Tegangan <i>Hoop (min)</i>	A62	x : -4.46 y : 1.00 z : 13.78	402

Tabel 6: Hasil Analisa Tegangan Pipa *Ballast* Pada Jalur 2

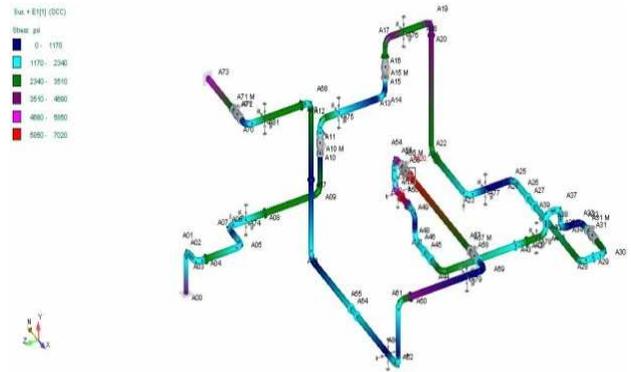
Jenis Tegangan	Titik	Node (ft)	Nilai Tegangan (Psi)
Tegangan <i>Sustained (max)</i>	A56	x : 4.00 y : 3.82 z : -9.88	7020
Tegangan <i>Sustained (min)</i>	A79	x : 11.49 y : 3.82 z : -8.88	321
Tegangan <i>Hoop (max)</i>	A56	x : 4.00 y : 3.82 z : -9.88	1328
Tegangan <i>Hoop (min)</i>	A79	x : 11.49 y : 3.82 z : -8.88	402

Hasil analisa diketahui bahwa nilai tegangan yang dihasilkan berada dibawah nilai tegangan izin material (JIS G-3442) yaitu sebesar 20.000 Psi. Sehingga tegangan kerja pipa *ballast* tersebut masih dapat dalam kondisi aman karena rancangan ini masih di bawah tegangan izin (*allowable stress*) material.

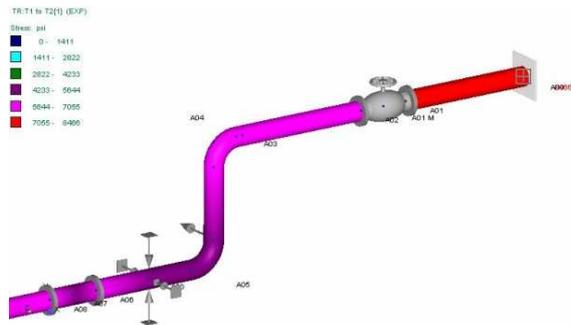
Pada analisa tegangan pipa *ballast* Jalur 1, *Contour* hasil analisa dapat dilihat pada Gambar 10. Sedangkan pada Gambar 11 menunjukkan lokasi tegangan maksimal di sepanjang pipa titik A00 sampai dengan A01 dengan *node* x: 0, y: 0, z: 1.64 (dalam satuan *feet*) sebesar 8.466 Psi untuk tegangan *sustained* dan untuk tegangan *hoop* nya sendiri sebesar 3.732 Psi.



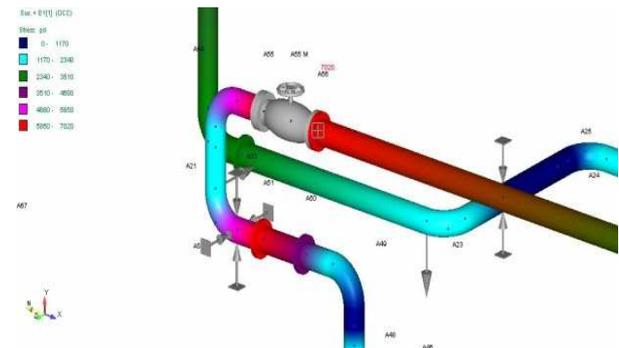
Gambar 10: Hasil Tegangan Pada Pipa Jalur 1



Gambar 13: Hasil Tegangan Pada Pipa Jalur 2



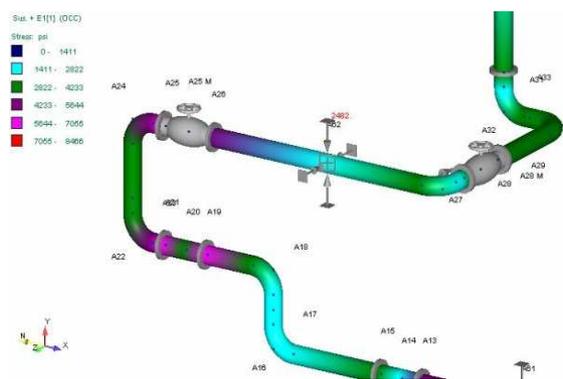
Gambar 11: Detail Lokasi Tegangan Kritis Pipa Jalur 1



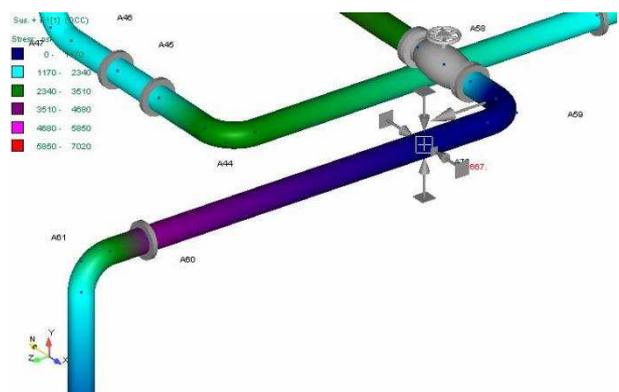
Gambar 14: Detail Lokasi Tegangan Kritis Pipa Jalur 2

Gambar 12 memperlihatkan lokasi tegangan minimum pada titik A62 dengan *node* x: -4.46, y: 1, z: 13.78 (dalam satuan *feet*) yaitu tegangan *sustained* sebesar 626 Psi dan tegangan *hoop* sebesar 402 Psi. Tegangan maksimal yang terjadi pada Jalur 1 disebabkan oleh beban *sustained* dan terletak di sepanjang pipa. Ini menunjukkan bahwa bagian sepanjang pipa berwarna merah adalah bagian yang harus jadi perhatian utama, terutama pada bagian yang berdekatan dengan katup (*valve*), hal ini terjadi karena adanya pompa di bagian *bilge system* sebelumnya yang memiliki tekanan cukup tinggi sehingga tegangan yang dihasilkan juga tinggi.

Gambar 15 memperlihatkan tegangan minimum pada titik A79 dengan *node* x: 11.49, y: 3.82, z: -8.88 (dalam satuan *feet*) yaitu tegangan *sustained* sebesar 321 Psi dan tegangan *hoop* sebesar 402 Psi. Hasil ini menunjukkan bahwa bagian *bend* dan bagian yang berdekatan dengan *valve* harus jadi perhatian utama bagi para perancang pada pipa yang memiliki tagangan maksimum, hal ini terjadi karena posisi *support* yang terlalu seenggang pada bagian pipa di sepanjang titik A56, sehingga terjadi tegangan tinggi pada bagian ini.



Gambar 12: Detail Lokasi Tegangan Minimum Pipa Jalur 1



Gambar 15: Detail Lokasi Tegangan Minimum Pipa Jalur 2

Pada analisa tegangan pipa *ballast* Jalur 2, *Contour* tegangan maksimal untuk pipa Jalur 2 dapat dilihat pada Gambar 13, sedangkan Gambar 14 memperlihatkan lokasi tegangan maksimal pada titik A56 dengan *node* x: -4.46, y: 1, z: 13.78 (dalam satuan *feet*). Untuk pipa Jalur 2 ini, tegangan maksimal yang dihasilkan berupa tegangan *sustained* sebesar 7020 Psi dan untuk tegangan *hoop* nya sendiri sebesar 1328 Psi.

4.0 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa sistem perpipaan *process piping* menggunakan AutoPIPE, diketahui besar nilai tegangan *sustained* maksimal dan tegangan *hoop* maksimal pada pipa Jalur 1 masing-masing sebesar 8466 Psi dan 3732 Psi pada titik A00 sampai dengan A01 dengan *node* x: 0, y: 0, z: 1.64. Sedangkan pada Jalur 2 didapatkan besar tegangan *sustained* maksimal dan tegangan *hoop* maksimal masing-masing sebesar 7020 Psi dan 1328 Psi pada titik A56 dengan *node* x: -4.46, y: 1, z: 13.78.

Berdasarkan hasil analisa tersebut, tegangan yang bekerja pada jalur pipa yang dihasilkan dari rancangan ini masih berada di bawah batas nilai tegangan izin material yaitu sebesar 20.000 Psi. Penggunaan material pipa *Galvanise* JIS Grade B bertujuan agar penggunaan pipa bisa lebih tahan lama. Hal ini disebabkan pada *system ballast* air yang digunakan adalah air laut yang mengandung garam yang dapat menyebabkan korosi pada material. Ini merupakan salah satu penyebab mengapa perusahaan memutuskan untuk menggunakan material yang memiliki tegangan izin 20.000 Psi.

Hasil tegangan operasional yang muncul dari rancangan ini sebesar 8000 Psi, sedangkan dalam pemilihan material pada *software* AutoPIPE saat memilih material *Galvanise* sudah ditentukan tegangan izinnya sebesar 20.000 Psi, dari pernyataan tersebut bisa dilihat jarak dari hasil operasional dengan tegangan izinnya cukup jauh, hal ini dinilai tidak terlalu efisien untuk penggunaan material dengan tegangan izin 20.000 Psi. Dibandingkan dengan penggunaan material yang sama dengan tegangan izin 10.000 Psi ini jauh lebih efisien karena pemilihan material ini mendekati perhitungan hasil operasional yaitu sebesar kurang lebih 8000 Psi serta harga pipa juga jauh lebih murah dibanding dengan material yang tegangan izinnya sebesar 20.000 Psi. Walau demikian dapat disimpulkan rancangan tersebut masih dapat dikatakan dalam kondisi aman karena rancangan ini masih berada di bawah tegangan izin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y.-S. Wu, W.-C. Cui, and G.-J. Zhou, *Practical Design of Ships and Other Floating Structures*. Oxford: Elsevier, 2001.
- [2] ASME, *ASME Code for Pressure Piping B31.3: Process Piping*, vol. 76, no. 8. 2019.
- [3] Donny S. Agustinus, *Pengantar Piping Stress Analysis*. London, United Kingdom: Entry Agustino Publisher, 2009.
- [4] P. Mahardhika, E. Julianto, A. Indartono, and G. E. Kusuma, "Analisa Pengaruh Kenaikan Tekanan Fluida Terhadap Tegangan Dan Fleksibilitas Pipa Blowdown A106 Grade A Berdasarkan ASME B31.3," *TEKNIK*, vol. 39, no. 1, p. 67, Aug. 2018.
- [5] K. Rizki Hidayatullah, Imam Pujo Mulyatno, "Analisa Tegangan Sistem Perpipaan Ballast Landing Craft Tank 200 GT," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 2, no. 4, 2014.
- [6] The American Society of Mechanical Engineers (ASME), *ASME ASME B31.3-2008 (Revision of ASME B31.3-2006, Process Piping , ASME Code for Pressure Piping, B31*. Three Park Avenue, New York, NY 10016-5990: The American Society of Mechanical Engineers, 2008.
- [7] "Perancangan Dan Analisa Sistem Perpipaan Process Plant Dengan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 4, pp. 337–346, 2014.