

Perancangan Sistem Pipa Pertukaran Air Ballas Metode *Flow-Through* pada Kapal SPOB 8500 KL

Wira Setiawan^{1*}, Ugik Arfiandi², Rodlian Jamal Ikhvani³, M. Uswah Pawara⁴

^{*1,2,3,4} Institut Teknologi Kalimantan

* E-mail: wira@lecturer.itk.ac.id

Abstract

The International Maritime Organization has regulated ballast water management, and one of the recognized ballast water exchange methods is the flow-through method. In general, this method performs ballast water exchange by forcibly pumping the replacement ballast water about three times the capacity of the tank and will exit through the overflow. This system can be part of a ballast system in general, so a comprehensive design is needed, including the determination of pipe support. The design of the ballast system on the SPOB 8500 KL ship begins with determining the pipe size and pump capacity used, then proceeds with 3-dimensional modeling with the help of autopipe software to analyze the stress in the pipeline and determine the number of components of the piping system that will be used. After the calculation process is carried out, the diameter of the ballast pipe is obtained with NPS 125mm, ID 122.55 mm, OD 141.3 mm, with a thickness of 9.525 mm. The pump capacity is 86 m³/hour with a pump head of 58.1 meters. In the pipe strength analysis stage, the highest stress is found at node 59 of 30432.04 N/mm², and after adding pipe support the stress value can be reduced to 6.05 N/mm² so that all points in the system are below the allowable stress value based on the allowable pipe span at the deflection limit. While the amount of material needed is known as 80 units of pipe with a length of 6 meters, shoe type pipe support (127 units), rod hanger type (28 units) and U-Bent type (2 units), gate valve (32 units), SDNR valve (10 units), Slip-on flange (84 units), Strainer (2 units), elbow (84 units), t-joint (38 units) and bellmouth (12 units).

Keywords : Ballas water management , Flow-through method, Allowable pipe span, Autopipe

Abstrak

International Maritime Organization telah mengatur pengelolaan air ballas, dan salah satu metode pertukaran air ballas yang diakui adalah metode *flow-through*. Secara umum metode ini melakukan pertukaran air ballas dengan memompa paksa air ballas pengganti sekitar tiga kali dari kapasitas tangki dan akan keluar melalui luapan. Sistem ini dapat menjadi bagian dari sistem ballas pada umumnya sehingga diperlukan perancangan yang komprehensif termasuk dalam penentuan *pipe support*. Perancangan sistem ballas pada kapal SPOB 8500 KL ini diawali dengan penentuan ukuran pipa dan kapasitas pompa yang digunakan, lalu dilanjutkan dengan pemodelan 3 dimensi dengan bantuan *software autopipe* untuk menganalisis tegangan pada jalur perpipaan serta mengetahui jumlah komponen sistem perpipaan yang akan digunakan. Setelah dilakukan proses perhitungan, maka diperoleh diameter pipa ballas dengan NPS 125mm, ID 122.55 mm, OD 141.3 mm, dengan ketebalan 9.525 mm. Adapun kapasitas pompa adalah sebesar 86 m³/jam dengan *head* pompa senilai 58.1 meter. Pada tahap analisis kekuatan pipa diperoleh tegangan paling tinggi berada pada node 59 sebesar 30432.04 N/mm², dan setelah dilakukan penambahan pipe support nilai tegangan dapat diturunkan menjadi 6.05 N/mm² sehingga semua titik-titik pada sistem berada di bawah nilai tegangan izin berdasarkan *allowable pipe span* pada batasan defleksi. Sedangkan jumlah material yang dibutuhkan diketahui sebanyak 80 unit pipa dengan panjang 6 meter, *pipe support* tipe *shoe* (127 unit), tipe *rod hanger* (28 unit) dan tipe *U-Bent* (2 unit), *gate valve* (32 unit), *SDNR valve* (10 unit), *Slip-on flange* (84 unit), *Strainer* (2 unit), *elbow* (84 unit), *t-joint* (38 unit) dan *bellmouth* (12 unit).

Kata kunci : Pengelolaan air ballas, metode *flow-through*, Allowable pipe span, Autopipe

1. Pendahuluan

Air ballas merupakan air laut yang dipompa menuju tangki di lambung bagian bawah kapal sebagai pemberat untuk memastikan stabilitas kapal, mengatasi kemiringan kapal, menggantikan beban dari muatan kapal saat bongkar muat, serta menjaga agar baling-baling tetap berada di dalam air. Ada ribuan spesies organisme laut yang secara tidak langsung dapat diangkut dalam air ballas. Meningkatnya pertukaran air ballas yang mencapai 3-5 milyar ton tiap tahunnya menghadirkan ancaman ekologi yang serius terhadap lautan [1]. Hal ini dipercaya kuat akan membawa pengaruh negatif bagi ekosistem laut di dunia secara global [2] termasuk di pelabuhan [3].

Organisme yang terbawa akan hidup di lokasi baru dan dapat bersifat invasif untuk spesies asli di lokasi tersebut. Perpindahan organisme spesies asing dan merusak sering disebut dengan sebutan *Invasive Alien Species* (IAS). IAS merupakan fenomena munculnya organisme asing (berbeda) dari habitat atau suatu ekosistem [4].

Oleh karena itu IMO merancang aturan mengenai *Ballas Water Management* pada tahun 2004, dan mulai diterapkan pada tahun 2017 melalui *BWM Convention*, meskipun belum semua kapal di Indonesia dapat menerapkan konvensi ini [5]. Melalui konvensi tersebut ada 3 metode pertukaran air ballas yang diakui oleh IMO yaitu, *Sequential method*, *flow-through method*, dan *dillution method* [2]. *Flow-through method* adalah metode dengan cara pemompaan air ballas pengganti ke tangki, dan memaksa air ballas yang ada keluar melalui luapan (lihat gambar 1). Air ballas dipompakan ke dalam tangki sejumlah tiga kali kapasitas tangki itu sendiri untuk mencapai 95% efektivitas dalam menghilangkan organisme yang ada sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.

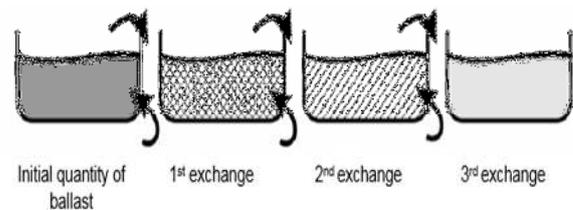
Perancangan sistem pipa ballas metode pertukaran *flow-through* perlu memiliki desain yang optimal dari sisi teknis agar dapat berfungsi dengan baik. Oleh karenanya, dibutuhkan desain yang komprehensif terkait

kapasitas dan head pompa ballas, diameter pipa, tegangan yang bekerja serta jumlah komponen pipa yang dibutuhkan.



Gambar 1. Luapan air ballas pada dek kapal

Dalam perancangan jalur perpipaan sistem ballas yang relatif lebih panjang dibandingkan sistem pipa lainnya di kapal, maka perhitungan tegangan pada pipa perlu diperhatikan untuk memastikan tidak terjadinya defleksi sehingga proses pertukaran air ballas dapat berjalan dengan baik.



Gambar 2. Ilustrasi 3 kali pergantian air ballas

Oleh karenanya, dibutuhkan perhitungan *pipe support* untuk mencegah defleksi yang diakibatkan oleh tegangan geser berlebih [6] sekaligus mengoptimamalisasi penggunaan penumpu yang terlalu banyak [7]. Dengan perhitungan dan peletakan penumpu yang tepat, maka akan menjaga fungsi sistem perpipaan tetap berada dalam kondisi aman [8], [9].

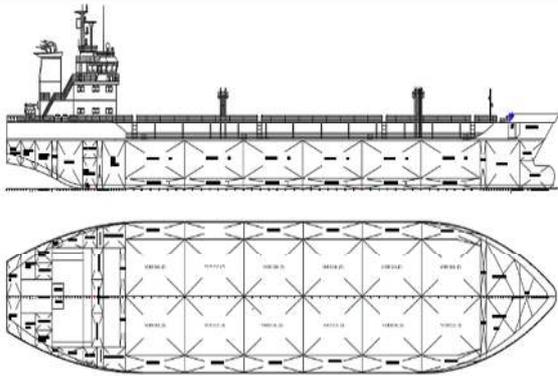
2. Metoda Penelitian

Perancangan sistem pipa pertukaran air ballas dilakukan dengan pembuatan desain pipa secara 2 dimensi terlebih dahulu dan dilanjutkan dengan pemodelan 3 dimensi menggunakan software autopipec.

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data yang akan digunakan meliputi data ukuran utama sebagaimana terlihat pada tabel 1 dan gambar rencana umum seperti pada gambar 3 berikut.

Tabel 1. Data ukuran utama kapal SPOB 8500 KL

Item	Nilai	Satuan
Panjang seluruhnya (<i>Loa</i>)	118	m
Panjang water line (<i>Lwl</i>)	114	m
Lebar	21	m
Tinggi	7	m
Sarat	4	m
Cb	0.65	-



Gambar 3. Rencana umum kapal SPOB 8500 KL

Langkah selanjutnya adalah menghitung kapasitas dan *head* pompa serta diameter pipa yang digunakan. Perhitungan *head* pompa dapat dilakukan bersamaan dengan desain sistem pipa untuk mengetahui berapa total panjang pipa yang digunakan dan jumlah aksesoris/*outfitting* pada pipa. Hal ini dikarenakan perhitungan *head* pompa sangat tergantung dari panjang aliran pipa sebagai fungsi dari *major losses* sedangkan jumlah *outfitting* yang digunakan merupakan fungsi dari *minor losses*. Perhitungan *head* pompa dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 1 berikut:

$$H_{tot} = H_s + H_p + H_v + H_l \quad (1)$$

Dimana:

- H_{tot} = *Head* total pompa (m)
- H_s = *Head* statis (m)
- H_p = *Head* perbedaan tekanan (m)
- H_v = *Head* perbedaan kecepatan (m)
- H_l = *Head* losses (m)

Sedangkan kapasitas pompa dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2 di bawah ini:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

Dimana:

- Q = Kapasitas pompa (m^3/jam)
- V = Volume tangki ballas (m^3)
- t = Waktu pengosongan tangki (jam)

Untuk mengetahui diameter dalam dari pipa yang digunakan, maka digunakan persamaan 3 berikut:

$$D_{in} = \frac{4Q}{\sqrt{v} \Pi} \quad (3)$$

Dimana:

- Q = Kapasitas pompa (m^3/jam)
- v = Kecepatan aliran (m/jam)

Setelah layout sistem pipa ballas telah selesai, maka selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui tegangan yang bekerja pada sistem perpipaan sehingga dapat ditentukan peletakan *pipe support* untuk memastikan bahwa jarak bentang pipa masih memenuhi *allowable pipe span*, baik itu berdasarkan batasan defleksi sebagaimana pada persamaan 4 maupun batasan tegangan itu sendiri yang secara matematis dapat dinyatakan seperti persamaan 8 di bawah ini.

$$L_s = \sqrt[4]{\frac{\Delta \cdot E \cdot I}{22,5 \cdot W}} \quad (4)$$

Dimana:

- L_s = Pipe *span* (ft)
- W = Berat total pipa (lb/in)
- E = Modulus elastisitas (psi)
- Δ = Defleksi yang diijinkan (in)
- I = Momen inersia bentangan pipa (in^4)

Berat total pipa (W) dapat diketahui dengan menjumlahkan berat pipa dan fluida sesuai persamaan berikut:

$$W_{pipa} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_o^2 - D_i^2) \cdot \rho_{pipa} \cdot L \quad (5)$$

$$W_{fluida} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_i^2) \cdot \rho_{fluida} \cdot L \quad (6)$$

Sedangkan momen inersia diperoleh melalui persamaan berikut:

$$I = \frac{\pi (D_o^4 - D_i^4)}{64} \quad (7)$$

Sedangkan untuk panjang bentang pipa maksimal berdasarkan tegangan izin adalah sebagai berikut:

$$L_s = \sqrt{\frac{0,33.Z.Sh}{W}} \tag{8}$$

Dimana:

- Ls = Pipe span (ft)
- W = Berat total pipa (lb/in)
- Z = Modulus penampang pipa (in³)
- Sh = Tegangan yang diijinkan (psi)

Adapun modulus penampang pipa dapat diperoleh melalui persamaan:

$$Z = \frac{1}{32} \pi \frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \tag{9}$$

3. Hasil Penelitian

3.1.Desain Sistem Ballas Water Exchange Metode Flow-Through.

Untuk menentukan diameter pipa, terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk menentukan kapasitas tangki air ballas pada kapal berdasarkan fungsi displasemen kapal.

$$\begin{aligned} V_{Disp} &= Lwl \times B \times T \times Cb \\ &= 114 \times 21 \times 4 \times 0.65 \\ &= 6224.4 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Untuk memenuhi kebutuhan operasional kapal, direncanakan volume air ballas sejumlah 10% displasemen, sehingga diperoleh volume sebesar 622.44 m³.

Selanjutnya, dengan volume air ballas yang telah diketahui dan waktu pengosongan tangki selama 6 jam, maka diperoleh kapasitas pompa berdasarkan persamaan 2 sebesar 103.7 m³/jam. Sehingga dengan menggunakan persamaan 3, diketahui diameter dalam pipa adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} D_{in} &= \frac{4 \times 103,7}{\sqrt{4 \times 3,14}} \\ &= 117.09 \text{ mm} \end{aligned}$$

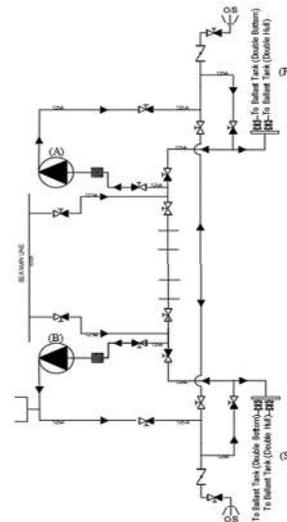
Berdasarkan data diameter dalam pipa tersebut, dipilih pipa berdasarkan standar ANSI B36.10 material A53 grade B sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil ukuran pipa yang akan digunakan

Item	mm	Inch
Nominal Pipe Size	125	5
Inner Diameter	122,25	4,812
Outer Diameter	141,3	5,562
Thickness	9,525	0,375

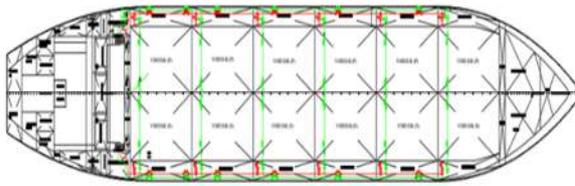
3.2. Perancangan layout sistem perpipaan

Proses desain dimulai dari perancangan sistem pipa secara dimensi berdasarkan layout daer ganda pada gambar 3. Selanjutnya dirancang penempatan pompa di kamar mesin sebagai acuan dasar desain skematik pipa sebagaimana gambar 4. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa sistem instalasi pipa dan perencanaan katup memungkinkan pompa ballas untuk digunakan dalam hal pengisian (*ballasting*) dan pengurasan (*deballasting*) Pada sistem *ballasting*, *sea chest* akan berperan sebagai *source* dan tangki ballas sebagai *reservoir*. Sedangkan pada sistem *deballasting*, tangki ballas akan menjadi *source* dan *overboard* baik yang terletak di sisi kapal maupun di main dek akan berperan sebagai *reservoir*.



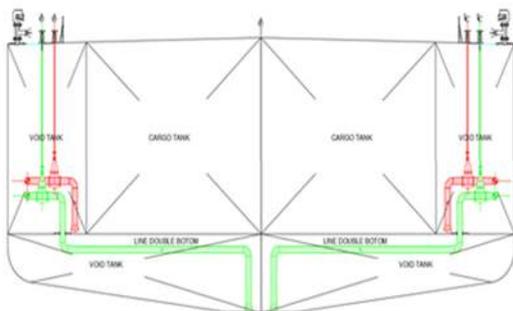
Gambar 4. Layout jalur pipa pada ruang pompa

Jalur pipa ballas ada dua, yaitu jalur pipa yang menuju tangki ballas di *double bottom* berwarna hijau dan jalur pipa yang menuju tangki ballas di *double hull* yang berwarna merah sebagaimana gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Desain Layout Pipa Pada Tangki Ballas

Pertukaran air ballas metode *flow-through* didesain dengan *air vent* sebagai jalur keluarnya luapan air ballas saat dilakukannya pertukaran sebagaimana gambar penampang melintang di bawah ini.



Gambar 6. Desain Pertukaran Air Ballas Pada Tangki

3.3. Perhitungan head pompa

Perhitungan head dilakukan pada kedua sisi pompa baik *suction* maupun *discharge*. Dengan menggunakan persamaan 1, maka tiap komponen *head* dihitung terlebih dahulu. Dalam menentukan *head friction* (H_f) maka nilai Reynold *number* dihitung sebagai berikut:

$$R_n = \frac{(v \times \text{Din})}{u} = 614035.0877$$

Dimana:

- $v = 4 \text{ m/s}$
- $\text{Din} = 0.122 \text{ m}$
- $u = 0.798 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ pada suhu 30°C

Dikarenakan nilai $R_n > 4000$, maka aliran dalam pipa dikategorikan turbulen sehingga untuk menghitung harga kerugian gesek (λ) digunakan persamaan berikut:

$$\lambda = 0.02 + (0.0005 / \text{Din}) = 0.020$$

Sehingga dapat diketahui nilai H_{f1} sebagai berikut:

$$H_{f1} = \frac{(\lambda \times L_s \times v^2)}{(\text{Din} \times 2g)} = 0.68 \text{ m}$$

Dimana:

- $L_s = 5.2 \text{ m}$
- $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *head* loses (H_l) berdasarkan data pada layout yang telah dirancang sehingga diperoleh data aksesoris pada sisi pipa hisap sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil ukuran pipa yang akan digunakan

No	komponen	n	k	nk
1	Elbow 90	2	1	2
2	T joint	2	1.8	3.6
3	Manifold	1	1	2
4	Gate valve	1	1.2	1.2
6	Bellmouth	1	1	2.5
$\Sigma nk =$				11.3

Dimana:

- $n =$ jumlah komponen
- $k =$ koefisien loses

Dengan menggunakan harga nk yang telah dihitung tersebut, maka dapat diketahui nilai H_{l1} sebagai berikut:

$$H_{l1} = \frac{(\Sigma nk \times v^2)}{2g} = 9.22 \text{ m}$$

Untuk menghitung *head friction* dan *head loses* pada sisi *discharge* (H_{f2} dan H_{l2}) maka digunakan persamaan yang sama dengan *head* pada sisi *suction*, sehingga diperoleh nilai *head* sebagai berikut:

- $H_{f2} = 13.45 \text{ m}$
- $H_{l2} = 27.59 \text{ m}$

Selain *head friction* dan *head loses*, adapula *head* statis, *head* perbedaan tekanan (H_p) dan *head* perbedaan kecepatan (H_v). *Head* statis diperoleh dari tinggi sisi hisap ke sumbu pompa ditambah tinggi sumbu pompa ke sisi buang sehingga nilainya sama dengan

tinggi kapal dikarenakan pembuangan air ballas diluapkan di main dek. Sedangkan nilai Hp dan Hv sama dengan 0 dikarenakan tdk ada perbedaan tekanan maupun kecepatan pada sisi hisap dan sisi buang.

Berdasarkan hitungan dan uraian di atas, maka dengan menggunakan persamaan 1, diperoleh total head pompa yang dibutuhkan adalah 57.95 m atau dibulatkan 58 m.

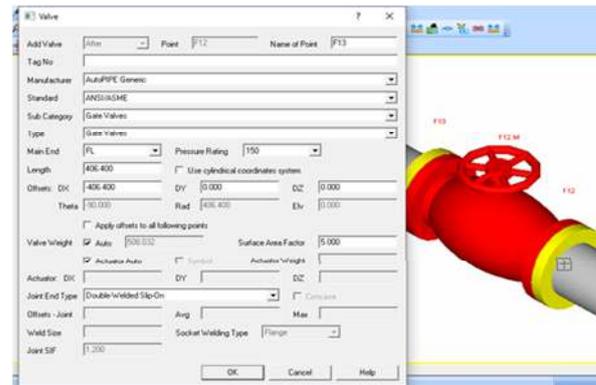
3.4. Pemodelan sistem ballas

Langkah selanjutnya adalah melakukan pemodelan pada software *autopipe* dengan menggunakan desain dasar 2 dimensi dan hitungan diameter pipa yang telah diperoleh sebelumnya. Material yang digunakan pada pemodelan ini adalah A53 grade b yang merupakan baja *low carbon* dengan properties sebagaimana tabel berikut.

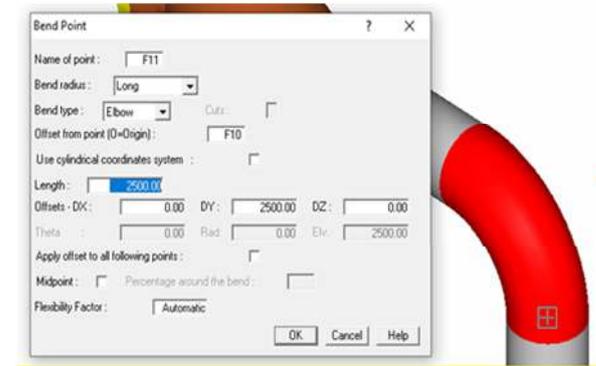
Tabel 4. Data Pipa

Item	Dimensi/keterangan	
Material	ASTM A53	Grade B
NPS	5	in
Schedule	80	
OD	5.562	in
ID	4.812	in
Thickness	0.375	in
Densitas pipa	0.282	lb/in ³
Densitas fluida	0.037	lb/in ³
temperatur desain	86	°F
Tekanan desain	13183.9	Psi
safety factor	1	

Pemodelan meliputi input data material, dan *properties* pipa, serta penambahan aksesoris/*fitting* pada pipa sebagaimana yang terlihat pada gambar 7 dan 8 berikut ini.

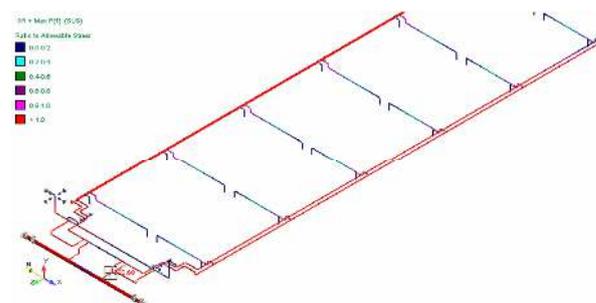


Gambar 7. Pemodelan flens dan katup



Gambar 8. Pemodelan Elbow bent point

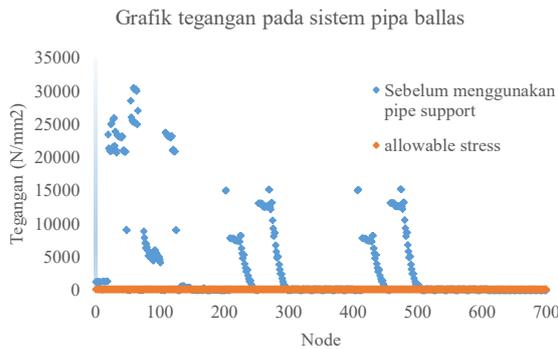
Setelah semua pemodelan telah selesai dilakukan, maka dapat diperoleh gambar desain 3D keseluruhan sebagai berikut.



Gambar 9. Pemodelan sistem ballas

Untuk mengetahui kekuatan pipa, maka dilakukan analisis tegangan dan didapatkan nilai tegangan yang telah melebihi batas maksimum yang diizinkan sesuai dengan material pipa yang digunakan yaitu sebesar 137.90 N/mm². Gambar 10 adalah grafik yang menunjukkan tegangan yang bekerja pada *node-node* sistem ballas *water exchange* metode *flow-through*. Dari gambar tersebut

dapat dilihat bahwa sangat banyak node atau titik yang memiliki tegangan melebihi tegangan izin (*Allowable stress*) sehingga perlu dilakukan rekayasa dengan menambahkan titik-titik *pipe support* sebagai penyangga sekaligus meredam getaran yang terjadi.



Gambar 10. Grafik hasil tegangan pada instalasi sebelum menggunakan *pipe support*

Sebelum menginput *pipe support* maka perlu terlebih dahulu dihitung bentang jarak antar *pipe support* (*Allowable pipe span*) yang dapat menggunakan pendekatan batasan defleksi maupun batasan tegangan itu sendiri. Berikut perhitungan *allowable pipe span* yang meliputi perhitungan berat pipa, berat fluida, momen inersia hingga modulus penampang pipa sebagaimana persamaan 5, 6 dan 7.

$$W_{pipa} = \frac{\pi}{4} \cdot (5,562^2 - 4,812^2) \cdot 0,282 \cdot 12 = 20.653 \text{ lb/ft}$$

$$W_{fluida} = \frac{\pi}{4} \cdot (4,812^2) \cdot 0,037 \cdot 12 = 8.117 \text{ lb/ft}$$

$$W_{Total} = W_{pipa} + W_{fluida} = 20,653 + 8,117 = 28.770 \text{ lb/ft}$$

$$I = \frac{\pi (Do^4 - Di^4)}{64} = \frac{\pi (5,562^4 - 4,812^4)}{64} = 20.648 \text{ in}^4$$

Diketahui:

$$E = 28800000 \text{ psi}$$

$$\Delta = 0.375 \text{ in}$$

Sehingga bentang pipa berdasarkan batasan defleksi adalah:

$$L_s = \sqrt[4]{\frac{\Delta \cdot E \cdot I}{22,5 \cdot W}} = 23.839 \text{ ft}$$

Sedangkan bentang pipa berdasarkan batasan tegangan izin adalah sebagai berikut.

Diketahui:

$$Sh = 20000 \text{ psi}$$

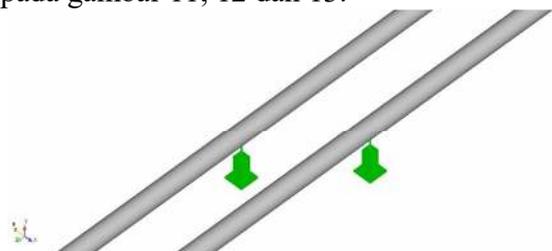
$$Z = \frac{1}{32} \pi \frac{5,562^4 - 4,812^4}{5,562} = 7.425 \text{ in}^3$$

Sehingga:

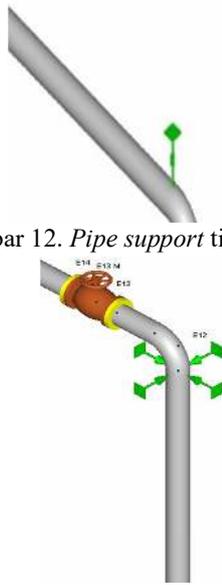
$$L_s = \sqrt{\frac{0,33 \cdot Z \cdot Sh}{W}} = \sqrt{\frac{0,33 \cdot 7,425 \cdot 20000}{28,770}} = 41.27 \text{ ft}$$

Dari kedua hasil perhitungan tersebut, maka diketahui jarak maksimum *allowable pipe span* berdasarkan batasan defleksi yaitu 23,839 ft sementara perhitungan berdasarkan batasan tegangan yaitu 41,271 ft. Dikarenakan selisih hasilnya cukup berbeda, maka diambil nilai terkecil untuk batasan aman defleksi yaitu senilai 23,839 ft atau 7266,154 mm sebagai jarak maksimum peletakan antar *pipe support* pada pipa ukuran 5 in atau 125 mm.

Dengan mengetahui *allowable pipe span* maka data bentang maksimum tersebut diaplikasikan dalam pemodelan sistem ballas sehingga titik-titik yang sebelumnya masih melebihi tegangan izin, dapat dipasang *pipe support* baik tipe *shoe* maupun *rod hanger* pada gambar 11, 12 dan 13.

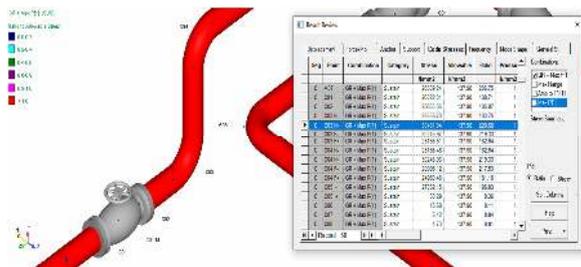


Gambar 11. *Pipe support* tipe *shoe*

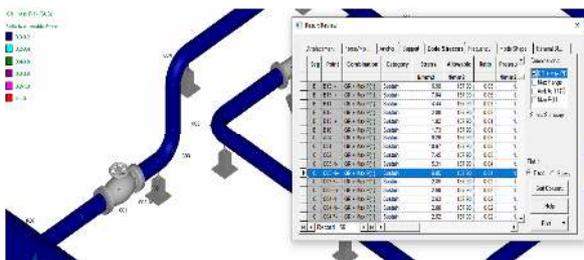


Gambar 12. Pipe support tipe rod hanger

Gambar 13. Pipe support tipe rod hanger (U-bent)



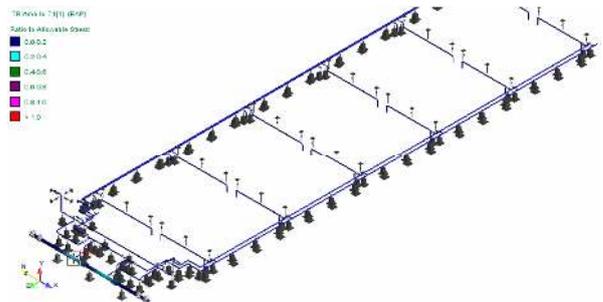
Gambar 14. Sistem pipa sebelum pemasangan pipe support



Gambar 15. Sistem pipa setelah pemasangan pipe support

Setelah pemasangan *pipe support*, maka kembali dilakukan analisis tegangan pada instalasi sistem pipa ballas. Diketahui tegangan yang bekerja pada pipa dapat diturunkan, misalnya pada node 59 yang memiliki tegangan awal sebesar 30432.04 N/mm² setelah dilakukan pemasangan *pipe support*, maka tegangannya berubah menjadi

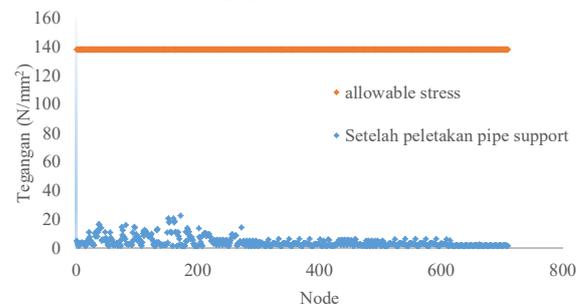
6.05 N/mm² dan tidak melewati batas tegangan yang diizinkan seperti pada gambar 14 dan 15. Adapun untuk keseluruhan sistem, dapat dinyatakan telah memenuhi Batasan defleksi sebagaimana ilustrasi pada gambar 16.



Gambar 16. Visualisasi keseluruhan Code Stresses setelah dipasangkan pipe support

Dari titik-titik pada pipa, dapat diplot grafik perbandingan antara tegangan izin dan tegangan yang bekerja pada pipa. Dari grafik pada Selengkapnya dapat dilihat pada gambar 17, dapat dilihat bahwa tegangan pada pipa dapat tereduksi hingga maksimal sekitar 20 N/mm², cukup jauh di bawah tegangan izin sebesar 137.90 N/mm².

Grafik tegangan pada sistem pipa ballas



Gambar 17. Grafik hasil tegangan pada instalasi setelah menggunakan pipe support

3.5. Jumlah Material Yang Dibutuhkan

Jumlah material dapat diketahui dari pemodelan instalasi sistem ballas *water exchange* metode *Flow-through* sehingga diperoleh data sebagaimana tabel 5 dan 6 sebagai berikut:

Tabel 5. Jumlah kebutuhan pipa (material A53 grade B; NPS 5 inch; Panjang 6 m)

No	item	Jumlah (unit)
1	Pipa Sebelum Manifold	10
2	Pipa Ballast tank (Double Bottom PS)	22
3	Pipa Ballast tank (Double Hull PS)	13
4	Pipa Ballast tank (Double Bottom SB)	22
5	Pipa Ballast tank (Double Hull SB)	13

Tabel 6. Jumlah kebutuhan *fitting* sistem perpipaan

No	Item	Material	Jumlah (unit)
1	<i>Pipe support (Shoe)</i>	Cast iron	127
2	<i>Pipe support (Rod Hanger)</i>	Cast iron	28
3	<i>Pipe support (U-Bent)</i>	Cast iron	2
4	<i>Gate Valve</i>	Cast steel	42
5	<i>SDNR Valve</i>	Cast steel	10
6	<i>Slip-on flange</i>	Carbon steel	84
7	<i>Strainer</i>	Carbon steel	2
8	<i>SDNR</i>	Bronze	2
9	<i>Bellmouth</i>	Cast iron	12
10	<i>Elbow</i>	Carbon steel	84
11	<i>T-joint</i>	Carbon steel	38

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan kebutuhan air ballas maka diperoleh ukuran pipa 125 mm, dengan *Inner Diameter* 122.25 mm, *Outer Diameter* 141.3 mm, dan ketebalan 9.525mm. Adapun pompa yang digunakan memiliki minimal *head* sebesar 58 meter, dengan kapasitas pompa sebesar 86 m³/jam.

Ditinjau dari kekuatan sistem perpipaan, tegangan yang paling besar terjadi pada node 59 senilai 30432.04 N/mm². Setelah dilakukan pemasangan pipe support, nilai tegangan pada node tersebut turun menjadi 6.05 N/mm² dan tidak melewati batas tegangan yang diizinkan senilai 137 N/mm², begitu pula pada semua titik lainnya.

Dari penelitian ini juga diketahui bahwa jumlah material yang dibutuhkan sebanyak 80 unit pipa dengan panjang 6 meter, *pipe support tipe shoe* (127 unit), *tipe rod hanger* (28 unit)

dan *U-bent* (2 unit), *gate valve* (42 unit), *SDNR valve* (10 unit), *Slip-on flange* (84 unit), *Strainer* (2 unit), *elbow* 84 (unit), *t-joint* (38 unit) dan *bellmouth* (12 unit).

5. Saran

Diperlukan adanya penelitian lebih lanjut untuk analisis tegangan dengan mempertimbangkan konstruksi kapal yang memungkinkan untuk dijadikan penumpang sehingga jumlah pipe support yang digunakan dapat diminimalisir.

6. Daftar Pustaka

- [1] M. Rastegary, "The Ballast Water Management Convention and its impacts on the shipping industry," *Payam Darya*, vol. 5, pp. 41–59, 2017.
- [2] American Bureau of Shipping, "Guide for Ballast Water Exchange." 2020.
- [3] I. Abdillah and M. Basuki, "Model Pengolahan Air Ballast Kapal akibat deballasting di pelabuhan Teluk Lamong Berbasis Risiko," p. 5.
- [4] H. A. Mooney and E. E. Cleland, "The evolutionary impact of invasive species," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 98, no. 10, pp. 5446–5451, May 2001, doi: 10.1073/pnas.091093398.
- [5] P. Budi, D. Ratna, and J. Nanang, "Ballast water treatment technology dan implementasi konvensi internasional untuk kapal berbendera Indonesia," vol. 1, no. 1, pp. 7–15, 2020.
- [6] S. Kanappan, *Introduction to pipe stress analysis*. Tennessee: A Wiley-Interscience Publication, 1986.
- [7] D. P. Vakharia and M. Farooq A, "Determination of maximum span between pipe supports using maximum bending stress theory.," vol. 1, no. 6, p. 4, 2009.
- [8] P. Mahardhika, "Penentuan Allowable Span antar Penyangga Pipa SLF berdasarkan Tegangan, Defleksi, Frekuensi Alami," *Media Komunikasi Teknologi*, vol. 21, no. 2, p. 27, Dec. 2017.
- [9] P. A. Pridyatama and B. A. Kurniawan, "Analisa Rancangan Pipe Support pada Sistem Perpipaan High Pressure Vent Berdasarkan Stress Analysis dengan Pendekatan Caesar II," 2014, vol. 3, no. 2, pp. 168–173, 2014.

