



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Kekuatan Sekat Melintang Dengan Variasi Model *Low-Frequency Sinusoid* Pada Kapal Tanker 6500 DWT

Hanif Ferdiansyah¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾, Ocid Mursid¹⁾

¹⁾Laboratorium Struktur dan Konstruksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*e-mail : ferdiansyahhanif@gmail.com

Abstrak

Sekat melintang adalah komponen yang penting pada Kapal Tanker. Dengan pesatnya dunia riset untuk mencapai efisiensi terbaik yang kemudian dapat berimplikasi pada nilai ekonomi, pilihan material dan desain suatu konstruksi dapat menjadi penentu keuntungan suatu perusahaan. Dewasa ini, kapal tanker banyak menggunakan sekat melintang berbentuk *corrugated bulkhead* yang berbentuk trapezium. Pada penelitian ini, penulis mencoba menguji *corrugated* yang berbentuk sinusoid pada kapal MT KAKAP. Dengan anggapan bahwa bentuk sinusoid yang minim dengan bentuk bersudut lancip, dapat menyebarkan stress secara lebih baik. Selain itu, penelitian ini juga meneliti pengaruh pengurangan frekuensi pada jumlah lekukan sekat korugasi. Dengan harapan menemukan *sweet spot* antara nilai ekonomis dengan faktor keamanan. Simulasi pengujian dilakukan menggunakan software berbasis Metode Elemen Hingga (MEH dengan variasi jumlah gelombang 10, 11, dan 12 (*existing*). Dari simulasi pengujian, didapatkan bahwa hanya Trapezoid *Corrugated Bulkhead existing* yang memiliki tegangan dibawah yield bahan yang digunakan. Dengan tegangan maksimal Trapezoid *Corrugated Bulkhead existing* $2,083 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ dan nilai displacement 9,14 mm dengan berat konstruksi 9,9 ton.

Kata Kunci : Kekuatan Kapal, Sekat Melintang, Metode Elemen Hingga, *Corrugated Bulkhead*, Stress

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Pernyataan tersebut dapat dibuktikan dengan jumlah pulau di Indonesia yang mencapai 17.000 pulau yang tersebar pada wilayah seluas sekitar 7,81 juta km² yang terletak membentang di antara 6° LU – 11° LS dan 95° BT - 141° BT, antara Samudera Pasifik dan Samudera Hindia, dan antara Benua Asia dan Benua Australia. Dengan karakteristik geografis tersebut, dapat dikatakan laut menjadi pemisah antar pulau.

Namun dengan hadirnya transportasi laut yang mumpuni, laut sebagai pemisah antar pulau dapat menjadi penghubung dalam kegiatan ekonomi maupun kemanusiaan yang menyatukan dan memperkuat Bangsa Indonesia. Menimbang akan vitalnya transportasi laut terhadap kegiatan bangsa, maka transportasi laut haruslah terus dikembangkan dengan baik sebagai upaya menjaga serta mengembangkan perekonomian.

Kapal yang berjalan dengan sejarah petualangan manusia merupakan salah satu alat transportasi laut. Kapal sebagai salah satu urat nadi transportasi laut, harus terus-menerus dikembangkan untuk mencapai tingkat efisiensi dan kegunaan yang baik. Kapal dapat mengangkut dan mengakomodasi berbagai kebutuhan. Dari kapal penumpang yang dapat mengangkut penumpang dari satu wilayah ke wilayah lainnya, hingga kapal barang yang mengangkut barang-barang kebutuhan hidup dari beras hingga minyak.

Salah satu elemen penting dalam roda perekonomian adalah kebutuhan akan minyak dan turunannya yang diangkut oleh kapal *tanker*. Kapal *tanker* merupakan salah satu jenis kapal yang banyak berlalu-lalang di lautan Indonesia mengingat dengan banyaknya kebutuhan minyak. Maka dengan semakin efektifnya penggunaan dan pembangunan kapal *tanker*, berarti semakin efektif pula laju perpindahan minyak.

Perhitungan kekuatan konstruksi kapal yang efektif tak pelak menjadi sebuah keniscayaan. Karena dengan perhitungan konstruksi yang efektif, dapat menghasilkan biaya konstruksi yang lebih murah hingga meningkatkan performa kapal itu sendiri.

Salah satu konstruksi krusial untuk kapal *tanker* adalah sekat melintang yang memisahkan antar kompartemen. Sekat ini berfungsi antara lain adalah membagi kompartemen untuk membagi tekanan muatan, membatasi bahaya kebocoran maupun kebakaran, serta menambah kekuatan konstruksi kapal secara keseluruhan.

Dengan perkembangan teknologi fabrikasi, variasi model konstruksi sekat tersebut lahir. Misalnya seperti penggunaan penegar / *stiffener* hingga adanya model sekat bergelombang atau *corrugated bulkhead*. *Corrugated bulkhead* merupakan sekat tanpa penegar yang terdiri dari beberapa bagian elemen pelat yang mempunyai lekukan gelombang, *Corrugated bulkhead* yang sudah biasa diimplementasikan pada kapal-kapal biasanya berbentuk gelombang *trapezium*.

Namun pada penelitian kali ini, penulis mengajukan model yang berbeda, yaitu *low-frequency sinusoids* (LFS). Dimana model *low-frequency sinusoids* mempunyai panjang gelombang yang lebih panjang daripada sekat bergelombang. Dengan model ini diharapkan dapat memungkinkan untuk menambah performa serta umur struktur. Dengan pertimbangan minimnya lekukan yang menjadi pusat tegangan, dan meminimalisir lengkungan. Serta dengan kemungkinan menghasilkan berat yang lebih ringan yang mengindikasikan pada berkurangnya biaya material yang digunakan. [1]

Dengan teknologi terkini, plat dengan model *sinusoids* dapat diproduksi hingga tinggi 1,5 meter [1]. Jadi sangat memungkinkan untuk diimplementasikan pada kapal dengan sambungan yang baik. Dan dengan perkembangan teknologi semoga di masa mendatang kita dapat memproduksi dengan skala yang lebih besar lagi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis potensi yang mungkin dihadirkan oleh model *low-frequency sinusoids* pada aplikasinya dalam pemodelan sekat kedap air dengan Metode Elemen Hingga (MEH)

2. METODE PENELITIAN

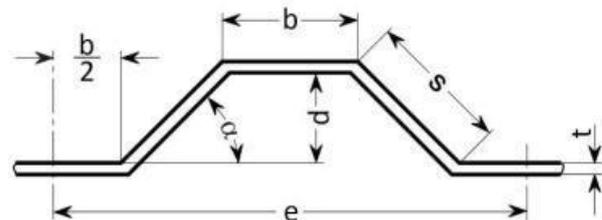
Tahap awal dalam penelitian ini yaitu dengan mengidentifikasi data-data terkait. Data tersebut diolah dengan cara dimodelkan menjadi 3 dimensi dengan model *trapezoid* dan *sinusoid*. Analisa kemudian dilakukan menggunakan bantuan aplikasi berbasis metode elemen hingga yaitu *Solidwork* yang menghasilkan nilai tegangan dan

displacement pada kapal yang bekerja pada sekat melintang. Manfaat yang didapat pada perhitungan ini adalah keunggulan teknis dan ekonomis kapal setelah menggunakan jenis sinusoid.

2.1. Sekat Bergelombang

Sekat bergelombang ini tidak memerlukan penegar-penegar pada modelnya. Sekat ini terdiri dari beberapa bagian elemen pelat yang mempunyai lekukan (gelombang) dan disambung dengan sistem pengelasan. Di dunia perkapalan, sekat bergelombang biasanya hadir dengan gelombang berbentuk *trapezium*. Jadi dalam perhitungan modulus penampang juga harus diperhitungkan *amplitude*, tebal pelat, sudut yang dibentuk, serta lebar dari elemen, lebar pelat hadap, dan lebar pelat bilah. Sudut-sudut dari elemen sekat gelombang disyaratkan minimal 45° . [2]

Keuntungan pemakaian sekat bergelombang yaitu penghematan berat yang relatif besar bila dibandingkan dengan sekat rata berpenegar, Pengelasannya berkurang, Mempunyai konstruksi yang lebih sederhana, Sekat lebih mudah dibersihkan, terutama pada kapal-kapal tangki, Mempermudah pemuatan barang pada kapal-kapal kargo. Sekat bergelombang diatur peraturan pada BKI Vol II Sec 11.4. [4]



Gambar 1 Elemen dari *Corrugated Bulkhead*

2.2. Low-frequencies Sinusoidals

Low-frequencies sinusoidals plate didefinisikan sebagai plat yang berbentuk gelombang *sinusoidal* dengan frekuensi dibawah rata-rata.[1] Pada penelitian kali ini, penulis berniat untuk meneliti potensi yang dihadirkan oleh *corrugated* berbentuk *sinusoids*, dan juga potensi penggunaan material yang efisien dengan mengurangi jumlah elemen/frekuensi pada *bulkhead existing*.

Model *low-frequencies sinusoidals* sangat memiliki potensi untuk menjadi pilihan efisien yang memiliki keunggulan seperti Penghematan berat yang relatif besar apalagi dengan pengurangan jumlah elemen, Pengelasannya berkurang dibanding plat berpenegar, Sekat lebih mudah dibersihkan, terutama pada kapal-kapal

tangki, Memiliki titik tegangan yang lebih merata dibanding corrugated bentuk trapezium.

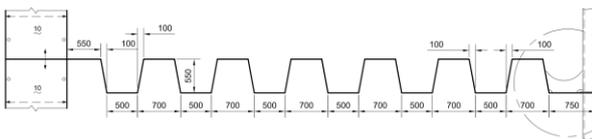
2.3. Pengumpulan Data

Objek yang diteliti yaitu *Oil Tanker 6500 DWT Kakap*. Data yang digunakan mencakup ukuran utama kapal maupun ukuran konstruksi *watertight bulkhead*. Ukuran utama kapal dapat dilihat pada tabel 1.

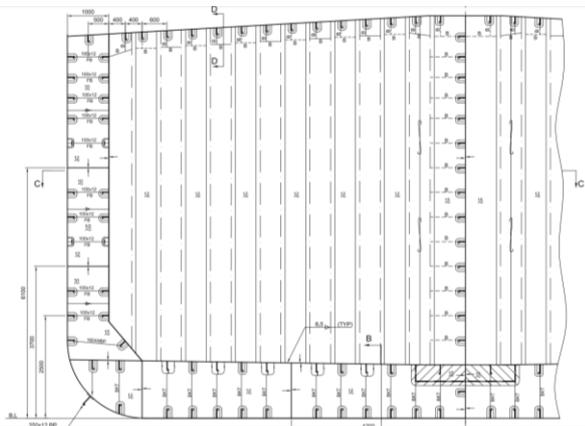
Tabel 1 Ukuran utama kapal MT Kakap

Ukuran utama	Dimensi	Satuan
<i>Length Overall</i>	108	m
<i>Length Perpendicular</i>	102	m
<i>Breadth</i>	19.2	m
<i>Height</i>	9.3	m
<i>Draft</i>	6	m

Ukuran dan bentuk konstruksi sekat melintang yang di dapat dapat terlihat pada gambar 1 dan gambar 2

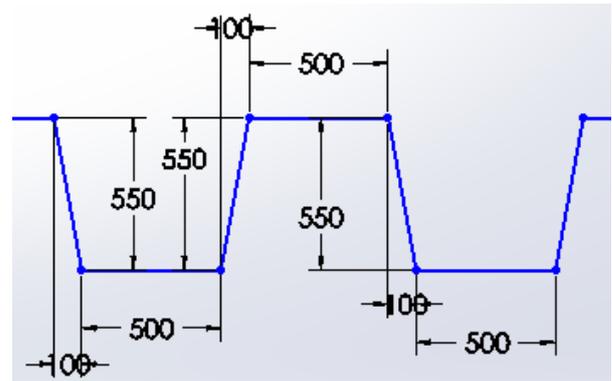


Gambar 2 Ukuran Existing Watertight Bulkhead

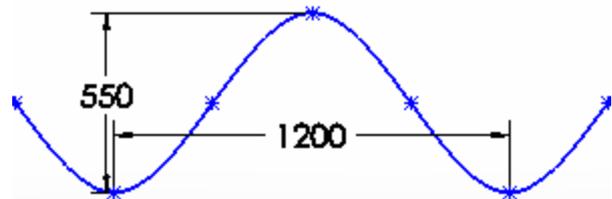


Gambar 3 Watertight Bulkhead

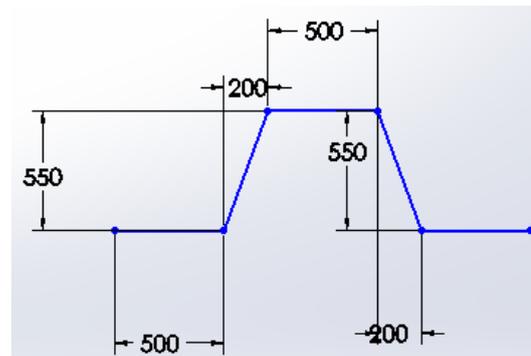
Variasi yang dilakukan adalah panjang satu elemen korugasi yang dimodelkan. Panjang satu elemen ditambah sehingga dalam satu bagian sekat bisa mengurangi jumlah korugasinya. Berikut dilampirkan ukuran yang digunakan pada masing-masing variasi korugasi.



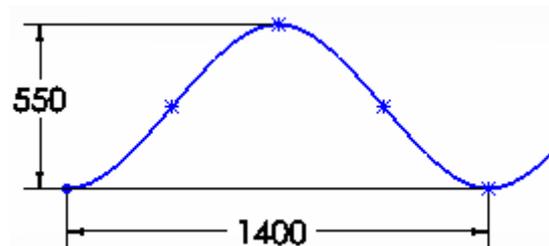
Gambar 4 Trapezoid Corrugated Bulkhead Existing Dengan Panjang Elemen 1200



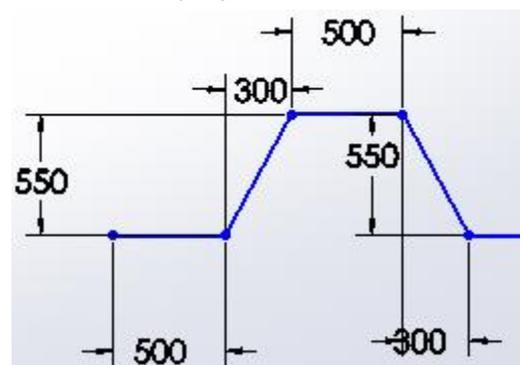
Gambar 5 Sinusoid Corrugated Bulkhead Dengan Panjang Elemen 1200



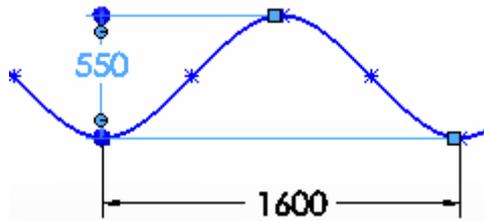
Gambar 6 Trapezoid Corrugated Bulkhead Dengan Panjang Elemen 1400



Gambar 7 Sinusoid Corrugated Bulkhead Dengan Panjang Elemen 1400



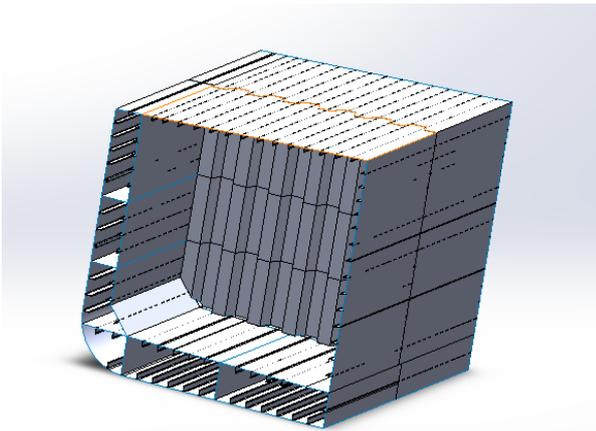
Gambar 8 Trapezoid Corrugated Bulkhead Dengan Panjang Elemen 1600



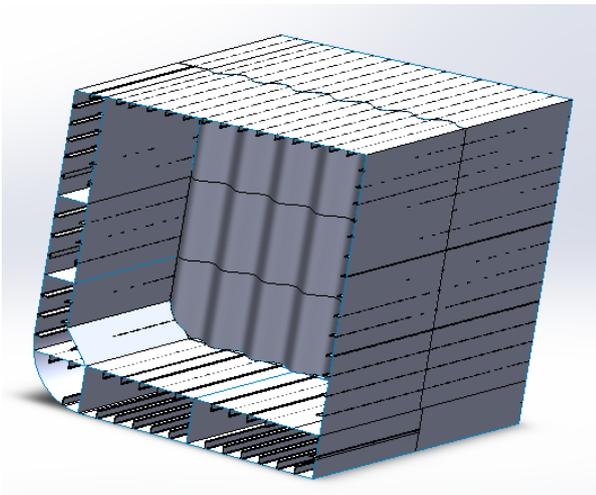
Gambar 9 Sinusoid Corrugated Bulkhead Dengan Panjang Elemen 1600

2.4. Pemodelan dan Setup Analisa

Data yang didapatkan kemudian diolah dengan pendekatan pemodelan dengan bantuan aplikasi perangkat lunak berbasis *Computer-Aided Design (CAD)* pada struktur sistem konstruksi *transverse watertight bulkhead*. Tahap ini berisi pembuatan variasi yang berjenis *corrugated bulkhead* dan *low-frequency sinusoids bulkhead*. Hasil pemodelan kapal *existing* dilampirkan pada gambar 4, sedangkan hasil pemodelan kapal dengan sekat jenis sinusoid terdapat pada gambar 5.



Gambar 10 Model *Corrugated Bulkhead Existing*



Gambar 11 Model *LFS Bulkhead*

Jenis material yang digunakan pada penelitian kali ini bahan kapal *existing* yaitu baja ASTM A36.

Mechanical Properties ASTM A36 dapat dilihat pada tabel 2.

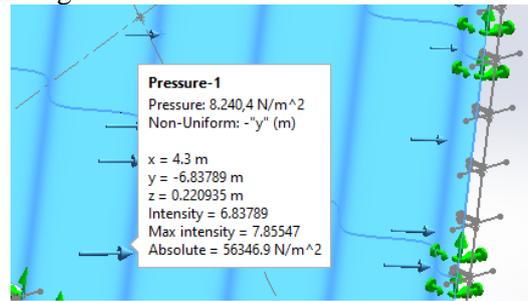
Tabel 2 *Mechanical Properties* ASTM A36

Deskripsi	Ukuran	Satuan
<i>Density</i>	7850	kg/m ³
<i>Elastics modulus</i>	2x10 ⁵	MPa
<i>Poisson ratio</i>	0,26	-
<i>Tensile Strength</i>	400	MPa
<i>Shear Modulus</i>	7.93x10 ⁴	MPa
<i>Yield Strength</i>	250	MPa

2.5. Perhitungan Beban

Beban yang digunakan pada penelitian ini adalah beban hidrostatis pada kondisi ekstrem, yaitu kondisi dimana satu tangki dianggap dalam kondisi penuh muatan sementara tangki yang lain dalam keadaan kosong.

Beban diaplikasikan sesuai dengan kedalaman muatan. Dimana semakin dalam muatan, maka semakin besar beban yang diterima sekat melintang.



Gambar 12 Beban Hidrostatis pada Simulasi

Perhitungan beban hidrostatis yang digunakan pada simulasi menggunakan *External Loads* berupa *Pressure* yang selanjutnya disesuaikan dengan masa jenis muatan, gravitasi, dan kedalaman. Didapatkan tekanan maksimal 56346.9 N/m².

2.6. Perhitungan Tegangan *Von-Mises*

Tegangan *von-mises* merupakan gabungan dari keseluruhan tegangan yang ada diantaranya tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal terjadi dari tiga arah sumbu, dan tegangan geser saat terjadi reaksi di area tertentu yang dapat dirumuskan dengan formula sebagai berikut [8].

$$\sigma_{VM} = \sqrt{I_1^2 - 3I_2} \quad (5)$$

$$I_2 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

$$I_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{xy}^2$$

Dimana σ_{VM} merupakan tegangan *von-mises* dengan satuan MPa, σ melambangkan tegangan normal, dan τ adalah tegangan geser.

Tegangan *von-mises* material apabila melebihi *ultimate strength*-nya maka akan mengalami pecah, dan apabila tegangan *von-mises* melebihi *yield strength* maka material tersebut akan memberikan kekuatan sebesar *yield strength* [8].

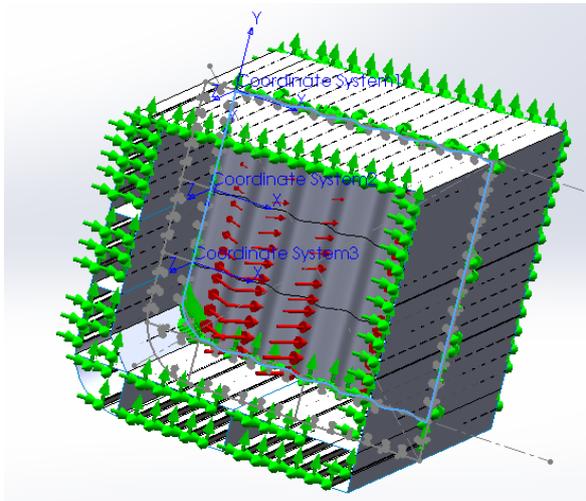
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Ukuran Variasi Konstruksi Sekat Melintang

Kapal MT Kakap menggunakan *corrugated bulkhead* berbentuk *trapezoid* yang berfrekuensi 12 maka bentuk tersebut sebagai model *existing*. Frekuensi disini didefinisikan sebagai satu elemen korugasi.

Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi jumlah frekuensi pada lekukan sekat *corrugated* serta membandingkannya dengan bentuk korugasi *sinusoids*.

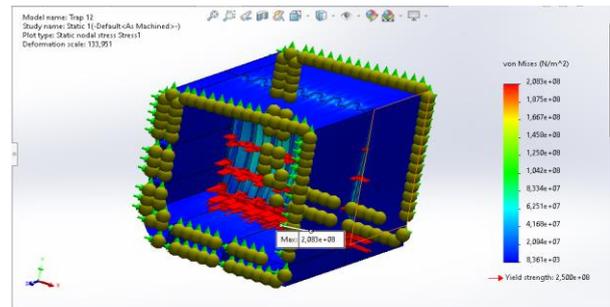
Sebagai perbandingan, penulis akan membuat simulasi untuk *corrugated bulkhead trapezoid* berfrekuensi 11 dan 10, serta membandingkannya dengan bentuk *sinusoids* dengan frekuensinya yang sama.



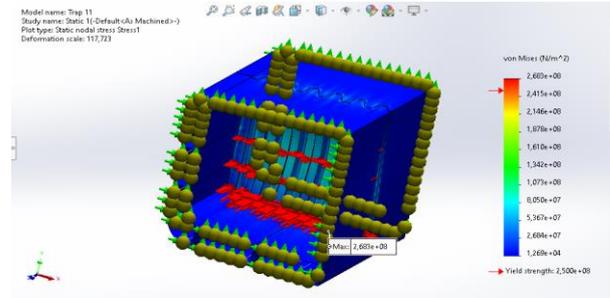
Gambar 13 Pengaturan Beban dan Kondisi Batas

3.2. Hasil Simulasi

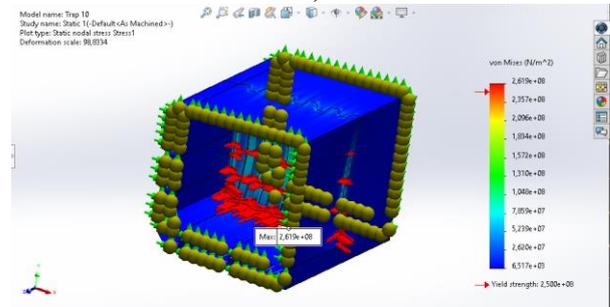
Analisis simulasi menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga. Dari hasil simulasi, didapatkan data tegangan *Von-Mises*, *displacement*, dan massa yang terdapat pada Gambar 3-2, Gambar 3-3, dan



a)

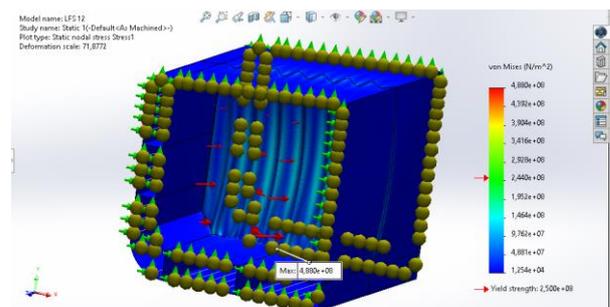


b)

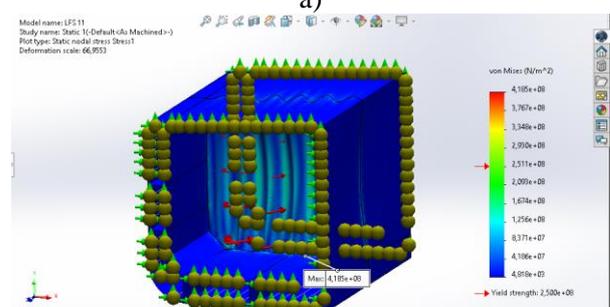


c)

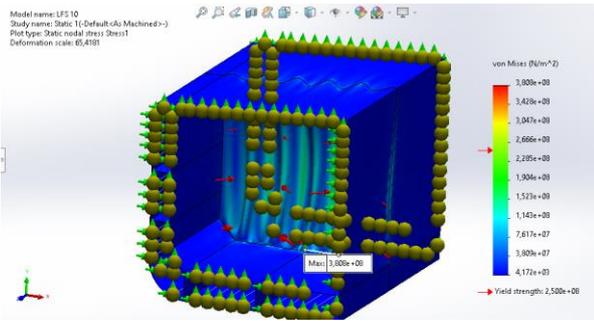
Gambar 14 Tegangan *Von-Mises* pada Konstruksi Sekat Melintang bentuk korugasi trapezoid dengan jumlah frekuensi ; a) 12, b) 11, c) 10



a)



b)

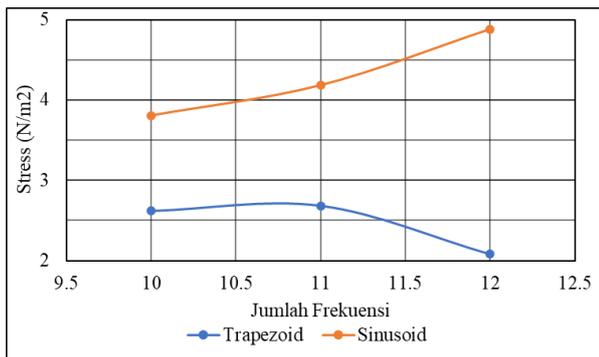


c)

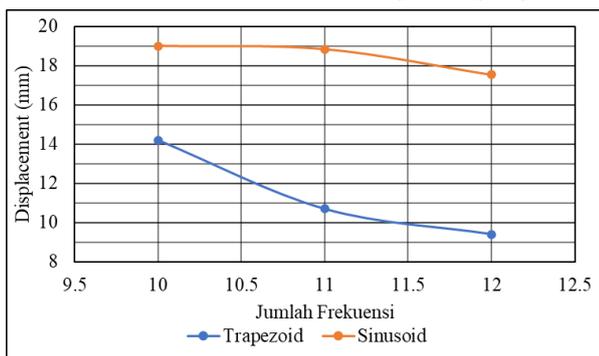
Gambar 15 Tegangan Von-Mises pada Konstruksi Sekat Melintang bentuk korugasi sinusoid dengan jumlah frekuensi ; a) 12, b) 11, c) 10

Tabel 3 Hasil Analisis

Variasi Korugasi	Panjang Frekuensi	Stress (10^8 N/m ²)	Displacement (mm)	Massa (ton)
Trapezoid	1200	2,083	9,412	9,9
	1400	2,683	10,7	9,54
	1600	2,69	14,2	8,08
Sinusoids	1200	4,88	17,54	8,43
	1400	4,185	18,83	8,21
	1600	3,808	19	7,96



Gambar 16 Grafik Perbandingan Tegangan

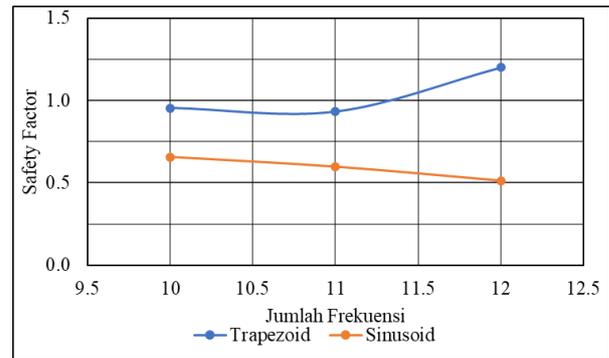


Gambar 17 Grafik Perbandingan Displacement

Dengan *Yield Strength* bahan baja ASTM A36 sebesar $2,5 \times 10^8$ N/m², maka konstruksi yang sudah memenuhi factor keamanan adalah *Trapezoid Corrugation* panjang frekuensi 1200. Hal ini dikarenakan inerti dari konstruksi variasi yang tidak sekuat dari *Corrugated Bulhead existing*. Yang kemudian berimplikasi pada kekakuan yang tidak mumpuni.

Displacement adalah perubahan bentuk pada benda yang dikenai gaya. Dalam hal ini melengkung, atau mengalami deformasi. Deformasi terjadi bila bahan mengalami gaya. *Displacement* terkecil juga terjadi pada *Corrugated Bulkhead existing* yaitu sebesar 9,4 mm.

Berdasarkan Tabel 3, didapatkan *stress* yang berada di bawah *yield* bahan hanyalah pada model *existing*. Sehingga secara perhitungan *safety factor*, hanya model *existing* yang memenuhi diatas 1.



Gambar 18 Grafik Perbandingan *Safety Factor*

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa kekuatan struktur *bulkhead* kapal tanker 6500 DWT menggunakan metode elemen hingga yang telah dilakukan dengan bantuan *software* berbasis elemen hingga dapat disimpulkan bahwa :

1. Tegangan maksimum yang di dapatkan dari analisa adalah pada *sinusoid corrugated bulkhead* yaitu sebesar 488 MPa. Sedangkan tegangan minimum terjadi pada *corrugated bulkhead existing* yaitu sebesar 208 MPa.
2. *Displacement* terkecil didapatkan oleh *corrugated bulkhead existing* yaitu masing-masing 9,412 mm, sementara yang terbesar adalah *sinusoid corrugated bulkhead panjang elemen 1600* yaitu 19 mm.
3. Lokasi *stress* terbesar berada pada pertemuan antara bottom side girder, inner bottom plate, dan *bulkhead*. Hal ini dikarenakan pada saat sekat dikenai beban muatan, *stress* diteruskan ke konstruksi sekitarnya.
4. Berdasarkan hasil analisa yang telah didapatkan dari masing – masing variasi sudut dimasukkan ke dalam perhitungan *safety factor* dengan tegangan yang diijinkan sebesar 250 MPa, maka hanya *corrugated bulkhead existing* yang memenuhi standar keamanan karena nilai *safety factor* yang lain berada dibawah 1.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wang, P. Y., Garlock, M. E. M., Zoli, T. P., & Quiel, S. E. (2021). Low- frequency sinusoids for enhanced shear buckling performance of thin plates. *Journal of Constructional Steel Research*, 177.
- [2] Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, D. (2008). *Teknik Konstruksi Kapal Baja Jilid 1 SMK Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan*.
- [3] Coutsar, A. N., & Setyawan, D. (2019). Analisis Tegangan Sekat Memanjang Tanker akibat Beban Sloshing menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS*, 8.
- [4] Mulyatno, P., & Amanda, I. (2011). Analisa Kekuatan Konstruksi Transverse Bulkhead Ruang Muat No.I Pada 18500 Dwt Dry Cargo Vessel Berbasis Metode Elemen Hingga (Vol. 8, Issue 1).
- [5] Parulian Sinaga, J., Mulyatno, P., & Amiruddin, W. (2015). Analisa Kekuatan Variasi Sistem Konstruksi Transverse Watertight Bulkhead Pada Multi-Purpose Cargo / Container Vessel 12000 Dwt Dengan Metode Elemen Hingga. In *Jurnal Teknik Perkapalan* (Vol. 3, Issue 3).
- [6] Saputra, S., Yulianto, T., & Sujiantanti, S. H. (2017). Penentuan Dimensi Corrugated Bulkheadpada Ruang Muat Kapal Tankersesuai Peraturan Biro Klasifikasi Indonesia Menggunakan Bahasa Pemrograman.
- [7] Murfihenni, W., & Pendidikan Kementerian Kebudayaan Dan Pengembangan Pusat Pemberdayaan Didik Dan Tenaga Dan Bidang Mesin Kependidikan Teknik. (2013). *Mekanika Teknik Bahan Ajar Untuk Smk Teknik Bangunan*.
- [8] D. Setyawan. (1999). *Kekuatan Struktur Kapal*
- [9] Hasil Karya Ilmiah, J., Fadillah, R., Fauzan Zaki, A., & Struktur dan Konstruksi Kapal, L. (2020). Analisa Fatigue Pada Kapal Tanker 6500 DWT Berdasarkan Common Structural Rules (CSR) berbasis Finite Element Analysis (FEA). *Jurnal Teknik Perkapalan*, 8(4), 588.