

Analisis Kekuatan Konstruksi Sekat Melintang Kapal Tanker dengan Metode Elemen Hingga

Ardianus, Septia Hardy Sujatanti, dan Dony Setyawan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: septi@na.its.ac.id, dony@na.its.ac.id

Abstrak—Dalam proses desain kapal khususnya kapal niaga sangat dibutuhkan perhitungan kekuatan dan pemilihan konstruksi yang kokoh dan kuat. Perbedaan jenis konstruksi pada kapal mempengaruhi nilai kekuatan kapal dalam mengangkut muatan. Salah satu perbedaan jenis konstruksi berada pada jenis sekat yang digunakan yaitu corrugated bulkhead dan transverse bulkhead. Pemilihan jenis konstruksi sekat ini tentunya mempunyai nilai kekuatan yang berbeda. Analisis konstruksi sekat dilakukan dengan mengkonversi corrugated bulkhead ke transverse bulkhead dengan modulus penampang dan panjang elemen yang sama. Corrugated bulkhead divariasikan pada sudut yang berbeda dan transverse bulkhead berupa penguat horizontal atau penumpu. Kemudian dilakukan pemodelan dan analisis kekuatan konstruksi menggunakan finite element software. Sehingga mendapatkan perbandingan nilai kekuatan konstruksi masing-masing sekat. Dari hasil analisis didapatkan nilai, corrugated bulkhead mempunyai kekuatan lebih besar serta berat konstruksi yang lebih ringan dibandingkan dengan transverse bulkhead. Tegangan terkecil berada pada corrugated bulkhead sudut 45° yaitu 76.6 N/mm^2 dan tegangan terbesar pada Transverse bulkhead tanpa penumpu yaitu 145 N/mm^2 . Deformasi terkecil pada corrugated bulkhead existing yaitu 2.48 mm dan deformasi terbesar pada transverse bulkhead tanpa penumpu yaitu 6.64 mm . Berat konstruksi terkecil pada corrugated bulkhead existing yaitu 38.1 ton dan berat konstruksi terbesar pada transverse bulkhead tanpa penumpu sebesar 49.5 ton . Konstruksi sekat yang paling murah adalah corrugated bulkhead sudut 64.36° (existing) dikarenakan mempunyai berat konstruksi terkecil dan nilai tegangan 85.4 N/mm^2 yang masih memenuhi tegangan ijin. a pada konstruksi corrugated bulkhead existing yaitu sebesar 38.1 ton .

Kata Kunci—*Corrugated bulkhead, finite element software, kekuatan konstruksi, transverse bulkhead.*

I. PENDAHULUAN

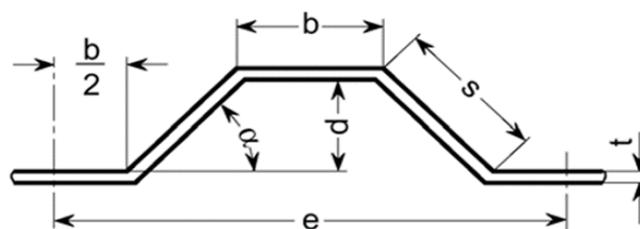
KAPAL merupakan alat transportasi laut yang mampu membawa muatan berupa barang dan penumpang dengan jumlah yang besar dibanding transportasi lainnya. Berdasarkan dari fungsi kapal tersebut khususnya pada kapal niaga sangat diperhatikan dari segi kekuatan konstruksi untuk bisa beroperasi dengan waktu yang lama serta dengan lingkungan yang cepat berubah. Dengan berkembangnya teknologi dibidang konstruksi kapal, pemilihan desain dan material sesuatu yang sangat dipertimbangkan oleh perusahaan galangan kapal dalam dalam perancangan dan pembuatan kapal baru. Salah satunya adalah sekat kedap air. Pada kapal

tangki, sekat kedap air merupakan sekat pemisah antara muatan satu dengan muatan lainnya. Sekat kedap ini terdiri dari dua bagian, yaitu sekat kedap melintang dan sekat kedap membujur. Biasanya paling sering dijumpai adalah sekat melintang (transverse bulkhead) yang terdiri dari pelat bergelombang atau pelat yang diberi penguat penegar (stiffener).

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Modulus Penampang Sekat bergelombang

Modulus penampang pada elemen corrugated bulkhead dapat ditentukan menggunakan aturan Biro Klasifikasi Indonesia tahun 2014 volume II tahun 2014 [1]. Modulus penampang sesungguhnya dari elemen sekat bergelombang dihitung sesuai rumus berikut :



Gambar 1. Elemen Sekat Bergelombang

$$W = t \cdot d (b + s/3) \quad (1)$$

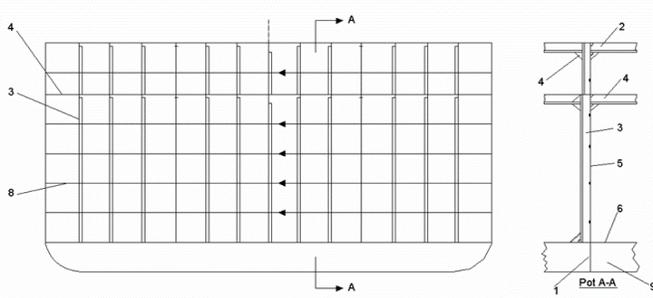
Dimana:

- e = lebar elemen (cm)
- b = lebar pelat hadap (cm)
- s = lebar pelat bilah (cm)
- d = jarak antara pelat hadap (cm)
- t = tebal pelat (cm)

B. Sekat Melintang (Transverse Bulkhead)

Pada umumnya sekat-sekat dibuat dari beberapa lajur pelat yang disusun secara mendatar sampai geladak lambung timbul. Untuk penguatan pelat sekat dipasang penegar-penegar yang dipasang secara mendatar. Di samping itu sekat melintang dapat pula dibuat dari pelat bergelombang tanpa penegar. Ujung-ujung penegar dapat diikat dengan pelat lutut, dengan mengelaskan langsung pada geladak dan dasar ganda atau membiarkan penegar tanpa pengikatan kecuali penegar yang dihubungkan dengan penumpu geladak dan penumpu

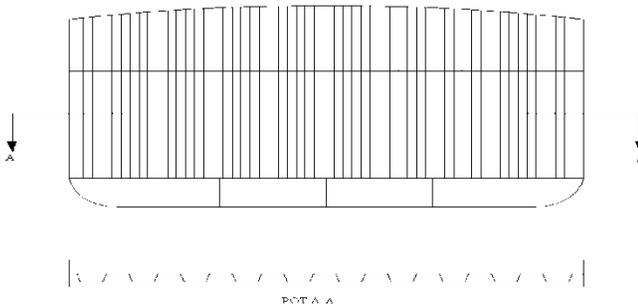
samping alas [2].



Gambar 2. Sekat Transverse Bulkhead

C. Sekat Bergelombang (Corrugated Watertight Bulkhead)

Sekat bergelombang (corrugated bulkhead), yaitu jenis sekat yang tidak memiliki penegar-penegar. Sekat ini terdiri dari beberapa bagian elemen pelat yang mempunyai lekukan (gelombang) dan disambung dengan system pengelasan. Sudut-sudut elemen pelat gelombang (alpha) minimum 45°.



Gambar 3. Sekat Kedad Bergelombang

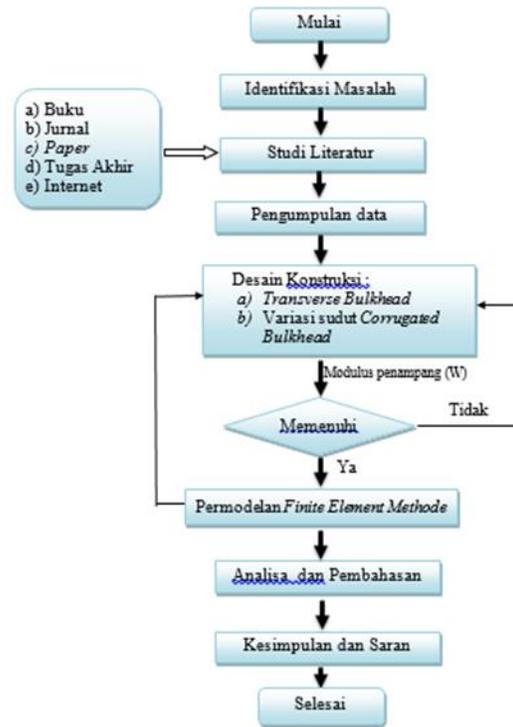
D. Metode Elemen Hingga

Persoalan perancangan dapat diselesaikan dengan cara matematis dan numeris. Untuk benda-benda yang mempunyai bentuk yang tidak teratur (elemen isoparametrik), penyelesaiannya akan sulit menggunakan cara matematis. Sehingga perlu digunakan cara numerik, yang dalam perkembangannya disebut sebagai Metode Elemen Hingga (Finite Elements Method). Bila suatu kontinu dibagi-bagi menjadi beberapa bagian yang lebih kecil (subregion) maka bagian-bagian kecil ini disebut elemen hingga. Proses pembagian suatu kontinu menjadi elemen hingga ini dikenal sebagai proses pembagian (deskritisasi), sehingga elemen hingga merupakan pendekatan bagian demi bagian dengan menggunakan polinomial yang mana masing-masing terdefinisi pada daerah (elemen) yang kecil dan dinyatakan dalam harga-harga titik simpul dari fungsi tersebut [3].

Dinamakan elemen hingga karena ukuran elemen kecil ini berhingga dan umumnya mempunyai bentuk geometri yang lebih sederhana dibandingkan kontinunya. Metode ini menjadi suatu solusi permasalahan yang sering dijumpai dalam dunia teknik seperti perpindahan kalor, mekanika fluida, analisis struktur, mekanika benda pejal, sampai dengan getaran. Tujuan utama analisis dengan menggunakan Metode Elemen Hingga adalah untuk memperoleh pendekatan tegangan dan perpindahan yang terjadi pada

suatu struktur [4].

III. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 4. Diagram Alir Motodologi Penelitian

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Modulus Sekat Bergelombang

Perhitungan modulus corrugated bulkhead dilakukan menggunakan aturan Biro Klasifikasi Indonesia tahun 2014 volume II adalah sebagai berikut:

$$W = t \cdot d (b + s/3) \tag{2}$$

dimana :

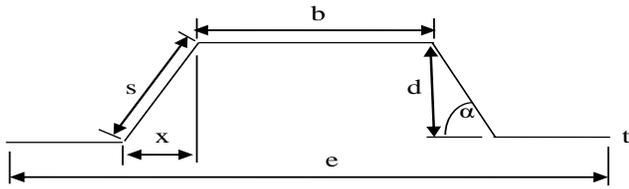
- e = lebar elemen (cm) = 240 cm
- b = lebar pelat hadap (cm) = 84 cm
- s = lebar pelat bilah (cm) = 83.19 cm
- d = jarak antara pelat hadap (cm) = 75 cm
- t = tebal pelat (cm) = 1.4 cm

sehingga perhitungan modulus,
 $W = 1,4 \times 75 (84 + 83.19/ 3)$
 $W = 11731,381 \text{ cm}$

B. Perhitungan Variasi Sekat Bergelombang

Variasi model sekat bergelombang (corrugated bulkhead) berdasarkan sudut berbeda maka dimensi elemen seperti lebar pelat hadap (b), jarak antara pelat hadap (d), pelat bilah (s),

dan tebal pelat (t) akan berbeda juga. Perhitungan dimensi corrugated bulkhead berdasarkan sudut ini masih dalam satu modulus penampang dan panjang elemen yang mendekati atau sama dengan data awal.



Gambar 5. Elemen Pada Variasi *Corrugated Bulkhead*

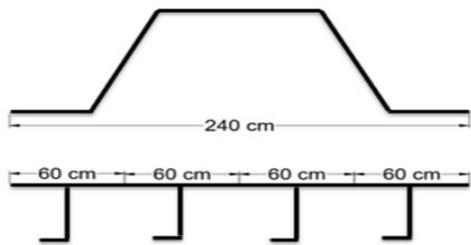
Ukuran sudut yang dipilih adalah Sudut 45°, 55°, dan 65° dan panjang elemen tetap yaitu 240 cm.

Tabel. 1. Dimensi Variasi *Corrugated Bulkhead*

Sudut	45	55	65	64.36 (existing)	
Variasi tebal	1.8	1.6	1.4	1.4	cm
x =	90	52.46	34.74	36	cm
s =	127.3	91.39	82.13	83.19	cm
b =	30	67.54	85.26	84	cm
d =	90.03	74.84	74.42	75	cm
e =	240	240	240	240	cm
W =	11737.66	11735.18	11735.04	11731.38	cm ³
selisih (%)	0.054	0.032	0.031	0	%

C. Perhitungan Sekat Melintang (*Transverse Bulkhead*)

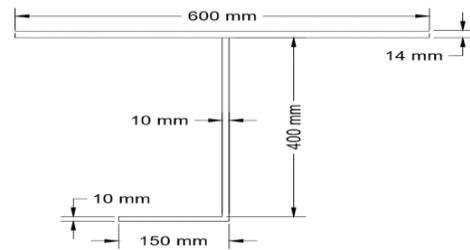
Desain dimensi tranverse bulkhead ini dilakukan dengan acuan panjang elemen yang sama dengan corrugated bulkhead yaitu 240 cm. Berdasarkan panjang elemen corrugated bulkhead maka terdapat beberapa penegar untuk tranverse bulkhead yang jumlah modulusnya sama dengan nilai modulus data corrugated.



Gambar 6. Konversi Panjang Elemen Sekat

1) Modulus Penegar

Perhitungan modulus dilakukan dengan membagi modulus data corrugated bulkhead dengan beberapa penegar pada tranverse bulkhead. Sehingga didapatkan nilai modulus penegar adalah 2932.845 cm³ selanjutnya dilakukan perhitungan ukuran profil penegar yang digunakan pada tranverse bulkhead.



Gambar 7. Profil Penegar

Jenis profil penegar yang digunakan adalah profil L dimensi 400 x 150 x 10 mm dengan modulus 2963.821 cm³ dan selisih 1.056 % dari modulus penegar awal.

2) Modulus Penumpu

Sehingga perhitungan modulus penampang untuk penumpu adalah sebagai berikut:

$$W = c \cdot e \cdot l \cdot p \cdot k \quad [\text{cm}^3] \quad (3)$$

dimana,

$$c = 0,55$$

$$e = (1 \text{ penegar atas})/(2) + (1 \text{ penegar bawah})/2 = 6,09/(2) + 4,06/(2) = 5,075 \text{ m}$$

$$L = 12,35 \text{ m}$$

$$H = 7.575 \text{ m}$$

$$p = 9.81 \times 7,575 = 74,31 \text{ cm}^3$$

$$\text{Reh} = 235$$

$$k = 235/235 = 1$$

Sehingga,

$$W = 0.55 \times 5.075 \times 12.352 \times 74.31 \times 1 = 31168.669 \text{ cm}^3$$

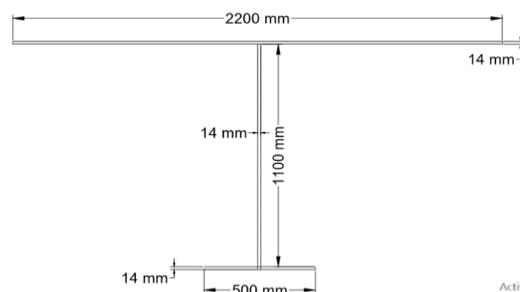
Perhitungan lebar efektif pelat pengikat untuk penumpu.

Tabel. 2. Interpolasi lebar pelat efektif

l/e	2	2.47	3
e _{m2} /e	0.37	0.44	0.52

$$l/e, 2.47 = e_{m2}/e 0.44$$

$$e_{m2} = e \times 0.44 = 5.075 \times 0.44 = 2.203 \text{ m}$$



Gambar 8. Profil Penumpu

Jenis profil penumpu yang digunakan adalah profil T dimensi 1100 x 500 x 14 mm dengan modulus 32093.2246 cm³ dan selisih 2.97 % dari modulus penumpu awal

D. Beban

Perhitungan beban menggunakan aturan *common structural rules for double hull oil tankers* [5].

Tekanan statis yang terjadi pada tangki :

$$P_{in-tk} = \rho \cdot g \cdot z_{tk} \text{ kN/m}^2$$

$$z_{tk} = 5.075$$

$$\rho = 0.9 \text{ untuk fluida pada kekuatan lelah}$$

$$1.025 \text{ untuk lainnya, dalam ton/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Tekanan statis tangki ketika pengisian penuh atau pengisian selama penggantian air ballast :

$$P_{in-air} = \rho_{sw} \cdot g \cdot z_{air} \text{ kN/m}^2$$

Dimana :

$$z_{air} = 7.575 \text{ m}$$

$$\rho = 1.025 \text{ ton/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Tes tekanan pada tangki, diambil nilai paling besar dengan persyaratan dibawah ini :

$$P_{in-test} = \rho_{sw} \cdot g \cdot z_{test} \text{ kN/m}^2$$

$$P_{in-test} = \rho_{sw} \cdot g \cdot z_{test} + P_{valve} \text{ kN/m}^2$$

Dimana :

$$z_{test} = \text{a) } 7.575 \text{ m}$$

$$\text{b) } 5.075 \text{ m}$$

$$\rho = 1.025 \text{ ton/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

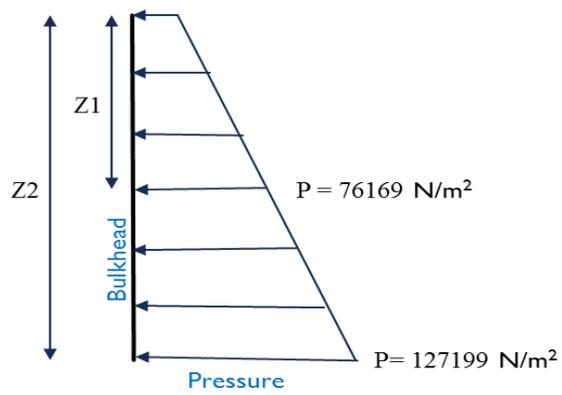
$$P_{valve} = 14 \text{ kN/m}^2$$

Berdasarkan perhitungan tekanan statis tangki dipilih nilai tekanan terjadi pada hasil pengujian tekanan (*testing pressure*) yaitu 76.169 kN/m².

Tabel 3. Hasil Perhitungan Beban

	z_{tk} (m)	P_{in-tk} (kN/m ²)
Cargo Tank	5.075	44.807
Flow Trough Ballast Water Exchange	z_{air} (m)	P_{in-air} (kN/m ²)
	7.575	76.169
Testing Pressure	z_{test} (m)	$P_{in-test}$ (kN/m ²)
	7.575	76.169
	z_{tk} (m)	$P_{in-test}$ (kN/m ²)
	5.075	65.030

Beban diaplikasikan sesuai tekanan hidrostatik muatan dimana beban yang berada pada bawah sekat paling besar dan semakin keatas semakin kecil.

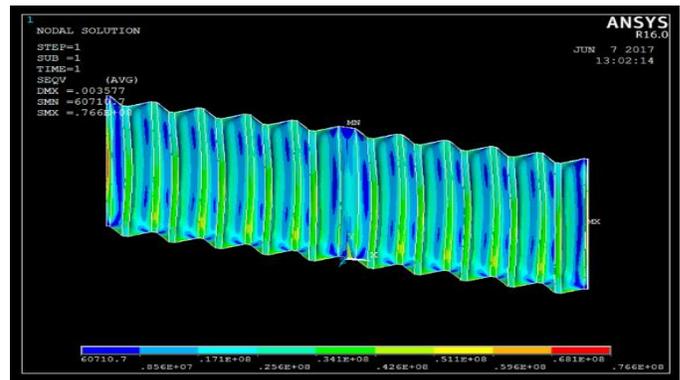


Gambar 9. Aplikasi Pembebanan Pada Sekat

E. Hasil Analisis

Hasil analisis sekat melintang menggunakan finite element software berupa tegangan von mises pada masing- masing model sekat. Didapatkan hasil sebagai berikut:

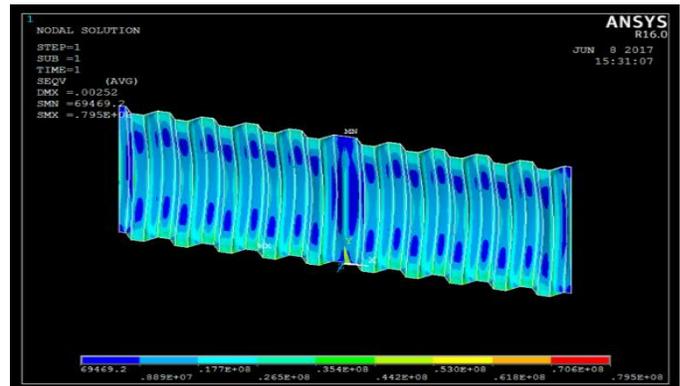
1) *Corrugated bulkhead sudut 45°*



Gambar 10. Tegangan Pada *Corrugated Bulkhead* Sudut 45°

Nilai tegangan maksimum yang terjadi pada *corrugated bulkhead* sudut 45° adalah 76.6 N/mm² berada pada sisi samping sekat.

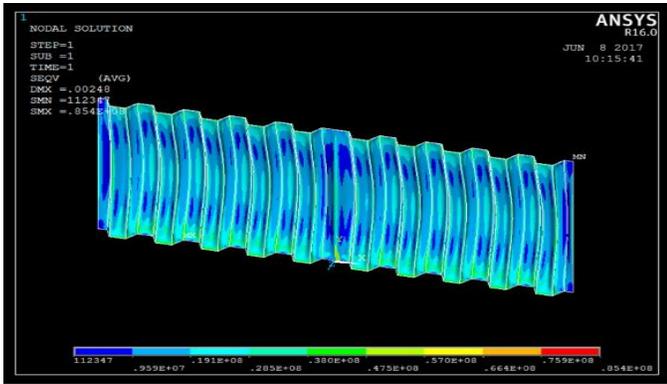
2) *Corrugated bulkhead sudut 55°*



Gambar 11. Tegangan Pada *Corrugated Bulkhead* Sudut 55°

Nilai tegangan terbesar pada *corrugated bulkhead* sudut 55° adalah 79.5 N/mm² yang berada pada daerah paling bawah sekat

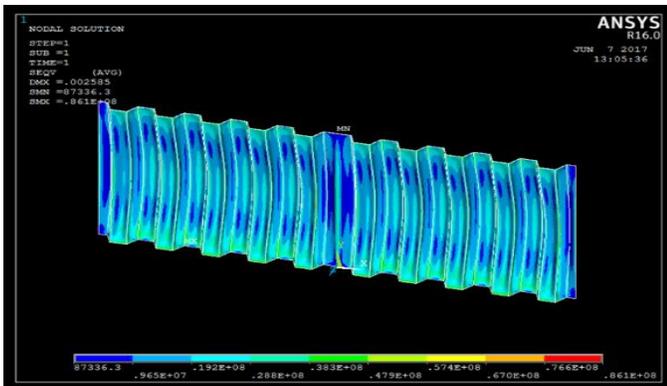
3) *Corrugated bulkhead Existing*



Gambar 12. Tegangan Pada *Corrugated Bulkhead* Sudut Existing

Nilai tegangan maksimum pada *corrugated bulkhead* existing adalah 85.4 N/mm² berada pada bagian alas sekat.

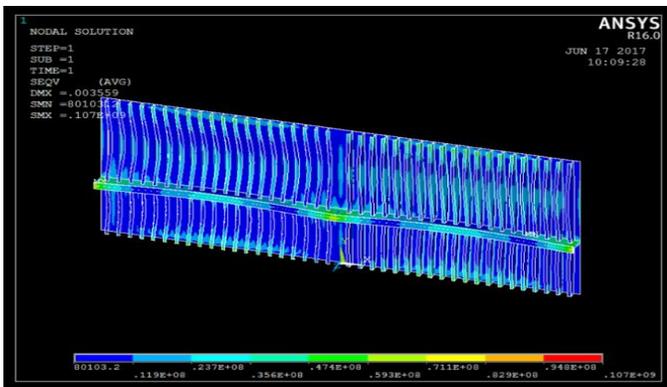
4) *Corrugated bulkhead sudut 65°*



Gambar 13. Tegangan Pada *Corrugated Bulkhead* Sudut 65°

Nilai tegangan maksimum pada *corrugated bulkhead* 65° adalah 86.1 N/mm² berada pada bagian alas sekat.

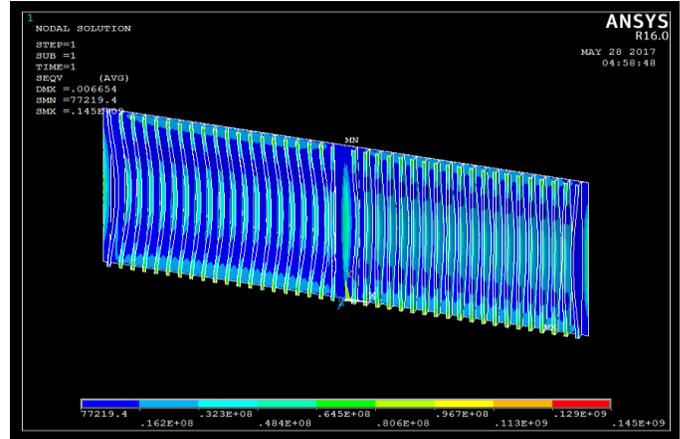
5) *Transverse bulkhead sudut dengan penumpu*



Gambar 14. Tegangan Pada *Transverse Bulkhead* Dengan Penumpu

Nilai tegangan terbesar pada *Transverse bulkhead* dengan penumpu adalah 107 N/mm² yang berada pada penegar bagian sisi sekat dengan tumpuan beban.

6) *Transverse bulkhead sudut dengan penumpu*



Gambar 15. Tegangan Pada *Transverse Bulkhead* Tanpa Penumpu

Tegangan terbesar pada *transverse bulkhead* tanpa penumpu berada pada bagian paling bawah sekat yaitu 145 N/mm², nilai tegangan minimum berada pada bagian paling atas sekat.

Tabel. 4. Nilai Tegangan Masing-Masing Model Sekat

Model Sekat Melintang	Tegangan Maksimum (N/mm ²)	Tegangan Ijin (N/mm ²)	$\sigma_{maks} \leq \sigma_{ijin}$
Corrugated bulkhead sudut 45	76.6	180	memenuhi
Corrugated bulkhead sudut 55	79.5	180	memenuhi
Corrugated bulkhead sudut 64.36 (existing)	85.4	180	memenuhi
Corrugated bulkhead sudut 65	86.1	180	memenuhi
Tranverse Bulkhead dengan penumpu	107	180	memenuhi
Tranverse Bulkhead tanpa penumpu	145	180	memenuhi

Hasil analisis sekat melintang menggunakan *finite element software* berupa deformasi pada masing- masing model sekat. Didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel. 5. Nilai Deformasi Masing-Masing Model Sekat

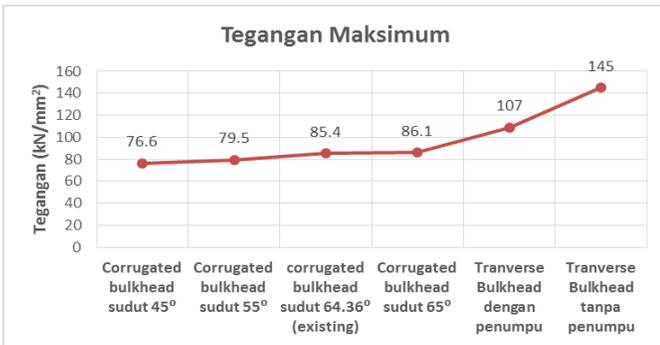
Model Sekat Melintang	Deformasi
Corrugated bulkhead sudut 45	3.58
Corrugated bulkhead sudut 55	2.52
Corrugated bulkhead data	2.48
Corrugated bulkhead sudut 65	2.58
Tranverse Bulkhead dengan penumpu	3.56
Tranverse Bulkhead tanpa penumpu	6.64

F. Pembahasan

1) Tegangan

Nilai tegangan paling tinggi terdapat pada model sekat *transverse bulkhead* tanpa penumpu yaitu 145 N/mm² dan

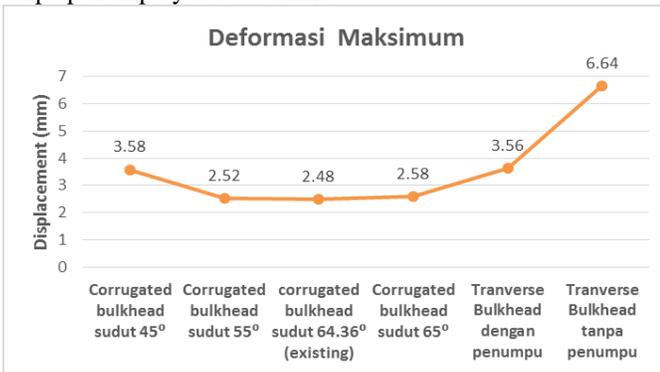
nilai tegangan terendah terdapat pada model *corrugated bulkhead* sudut 45° yaitu 76.6 N/mm².



Gambar 16. Grafik Perbedaan Nilai Tegangan

2) Deformasi

Nilai deformasi terkecil berada pada konstruksi sekat *corrugated bulkhead existing* yaitu 2.48 mm dan nilai deformasi terbesar berada pada model *transverse bulkhead* tanpa penumpu yaitu 6.64 mm.



Gambar 17. Grafik Perbedaan Deformasi

3) Berat Konstruksi

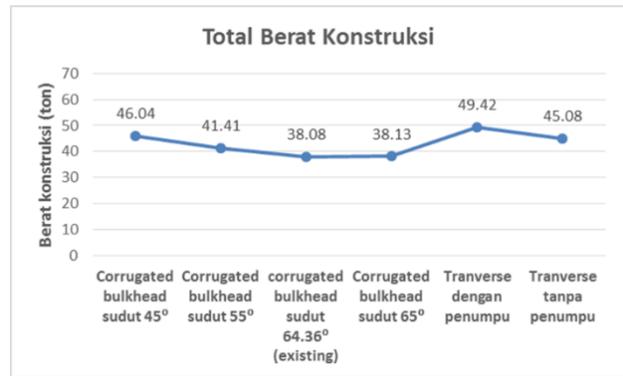
Tabel 6. Perhitungan Berat *Corrugated Bulkhead*

No	Transverse bulkhead	Ukuran (m)			Area m ²	Tinggi (m)	Volume m ³	Massa jenis (kg/m ³)	Jumlah	Berat (kg)
		Panjang	Lebar	tebal						
1	pelat sekat	24.7	10.15	0.014	-	-	3.51	7850	1	27552.48
2	penegar	0.4	0.15	0.01	0.006	10.15	0.056	7850	40	17529.05
3	penumpu	1.1	0.5	0.014	0.022	24.7	0.553	7850	1	4343.25
									Transverse bulkhead dengan penumpu =	49424.78
									Transverse bulkhead tanpa penumpu =	45081.53

Tabel 7. Perhitungan Berat *Transverse Bulkhead*

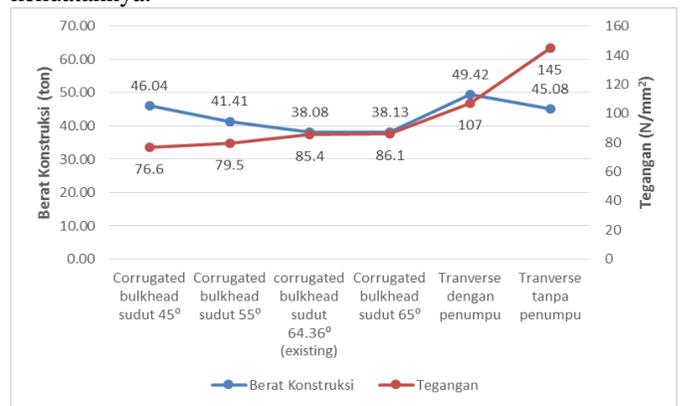
No	Corrugated bulkhead	Ukuran (m)			jumlah elemen	Area m ²	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Massa jenis (kg/m ³)	Berat (kg)
		b	s	tebal						
1	sudut 45°	0.3	1.27	0.018	10	0.578	10.15	5.865	7850	46037.7
2	sudut 55°	0.675	0.914	0.016	10	0.52	10.15	5.275	7850	41406.8
3	sudut 64.36°	0.84	0.832	0.014	10	0.478	10.15	4.851	7850	38082.7
4	sudut 65°	0.853	0.821	0.014	10	0.479	10.15	4.857	7850	38127.3

Pada *corrugated bulkhead* berat konstruksi terbesar berada pada model dengan sudut 450 yaitu sebesar 46.03 ton dan berat terkecil berada pada model *existing* yaitu sebesar 38.08 ton.



Gambar 18. Grafik Total Berat Konstruksi Sekat

Berat total konstruksi pada masing masing sekat akan mempengaruhi total harga untuk suatu konstruksi sekat sehingga dilakukan perbandingan dengan untuk mengetahui kekuatannya.



Gambar 19. Grafik Perbandingan Berat Konstruksi Dan Tegangan

Hasil berat konstruksi dan tegangan pada *corrugated bulkhead* sudut 64.360 (*existing*) memiliki berat yang paling kecil yaitu 38.08 ton dan nilai tegangan sebesar 85.4 N/mm² sehingga pada konstruksi sekat ini merupakan nilai optimal pada sekat melintang.

V. KESIMPULAN

1. Perhitungan modulus pada *transverse bulkhead* dengan penjumlahan beberapa modulus penegar sesuai panjang elemen serta modulus *corrugated bulkhead*.
2. Dimensi profil penegar adalah 400 x 150 x 10 mm dan penumpu = 1100 x 500 x 14 mm.
3. Tegangan terkecil pada *corrugated bulkhead* sudut 45° yaitu 76.6 N/mm² dan terbesar pada *transverse bulkhead* tanpa penumpu = 145 N/mm².
4. Deformasi terkecil pada *corrugated bulkhead existing* yaitu 2.48 mm dan terbesar pada *transverse bulkhead* tanpa penumpu = 6.64 mm.
5. Berat konstruksi, terkecil pada *corrugated bulkhead existing* = 38.1 ton, terbesar pada *transverse bulkhead* tanpa penumpu yaitu 49.5 ton.
6. Konstruksi sekat yang paling murah adalah *corrugated bulkhead existing* dengan nilai tegangan 85.4 N/mm² yang memenuhi tegangan ijin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. B. K. Indonesia, *Rules for The classification and Construction of Sea going Steel Ship Volume II : Rules for Hull*. Jakarta, 2014.
- [2] D. I. Kusna, *Teknik Konstruksi Kapal Baja*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Atas Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [3] R. . Cook, *Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*. Bandung: PT ERESKO, 1990.
- [4] P. . Weaver .W.Jr., Johnston, *Elemen Hingga Untuk Analisis Struktur Edisi kedua*. Bandung, 1993.
- [5] IACS, *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers*. United Kingdom: IACS, 2012.