

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal Container

Kapal merupakan sebuah alat transportasi yang memiliki fungsi untuk mengangkut penumpang, barang atau muatan di laut maupun di aliran aliran sungai. Kapal telah banyak mengalami perubahan yang cukup signifikan dalam meningkatkan kemampuan pada kapal seperti perkembangan desain serta material yang digunakan. Penggerak kapal juga mengalami perubahan dimana pada masa lampau menggunakan tenaga manusia hingga pada masa modern ini telah menggunakan tenaga mesin yang lebih efektif.

Banyak sekali jenis maupun kegunaan yang berbeda-beda pada setiap kapal. Salah satunya kapal *container* yang merupakan kapal dengan desain dan dibuat secara khusus untuk mengangkut *container* atau peti kemas yang disusun ruang muat ataupun di atas dek kapal dengan kapasitas tertentu dan juga dengan ukuran sesuai ketentuan.



Gambar 2. 1 Kapal *Container*

(source: <http://www.southportsailmakers.com>)

2.2. Kekuatan Kapal

Struktur kapal merupakan salah satu bagian kapal yang sangatlah penting. Dimana struktur kapal ini berperan sangat penting dalam menjamin kekuatan kapal.

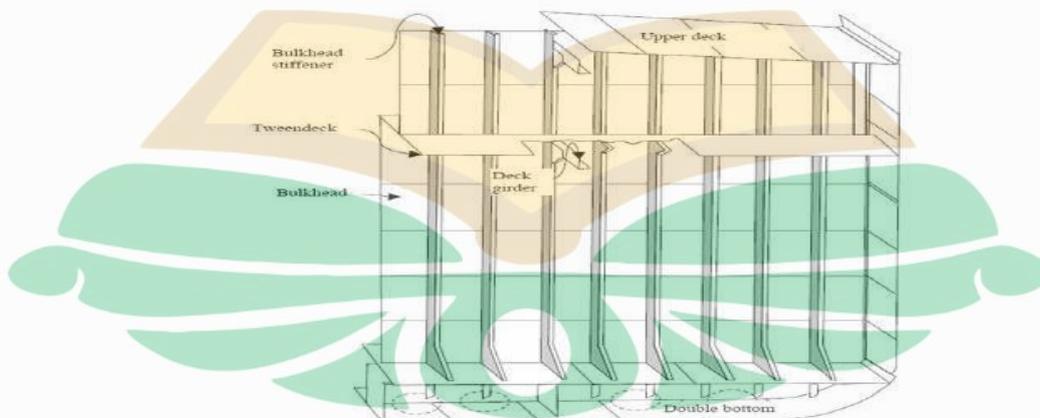
Struktur kapal harus memiliki kemampuan yang cukup untuk menerima dan menahan beban saat kapal beroperasi. Dalam mendesain dan merancang kapal seorang *Naval Architect* wajib melakukan serangkaian perhitungan dan analisis terhadap seluruh bagian kapal yang akan dibuat (Saputra, 2012).

Kekuatan melintang kapal tergantung terhadap konstruksi melintang kapal yang memperoleh beban langsung di geladak serta tekanan hidrostatik sehingga moment yang dihasilkan pada tiap profil melintang berbeda. Dalam perhitungan konstruksi melintang akan menghasilkan nilai tegangan yang berbeda pada profil (Saputra, 2012).

2.3. Sekat Melintang Kapal

Komponen penting pada kapal yang terletak dibagian lambung yaitu sekat melintang. Salah satu peran penting dari sekat adalah menjaga kompartemen atau ruangan ruangan dikapal. Terdapat berbagai macam letak sekat dikapal serta fungsi yang berbeda juga, seperti sekat tumbukan, sekat kamar mesin, sekat ruang muat, dan lain-lain.

Sekat melintang kapal biasanya memiliki sifat yang kedap, dimana sekat kedap ini berfungsi sebagai pembatas masuknya air antar ruangan-ruangan, sebagai pencegah menjalarnya api saat terjadi kebakaran, dan sebagai penguat konstruksi melintang kapal. Konstruksi sekat melintang pada kapal harus dibuat kokoh (Stevan,dkk).



Gambar 2. 2 Sekat Melintang Kapal

Ada berbagai jenis sekat melintang yang di gunakan dan pada umumnya jenis yang digunakan adalah sekat berpenegar (*Stiffener*). Sekat berpenegar terdiri dari berbagai plat yang di susun secar *vertical*. Selain sekat yang menggunakan penegar ada juga sekat yang dibuat bergelombang tanpa menggunakan penegar (Ardianus dkk, 2017).

Pada setiap ujung kapal harus memiliki sekat tubrukan, sekat buritan dan sekat kedap air. Kapal dengan mesin di buritan dapat menggantikan sekat ruang mesin (BKI *Volume II*, 2014).

Jumlah sekat kedap yang terdapat pada kapal ditentukan dengan Biro Klasifikasi Indonesia *Volume II Section 11* yang diklasifikasikan berdasarkan panjang kapal sebagai berikut:

Tabel 2.1 Jumlah Sekar Kedap Air Pada Kapal

| L [m] | Arrangement of machinery space | |
|--------------------|--------------------------------|-----------|
| | aft | elsewhere |
| $L \leq 65$ | 3 | 4 |
| $65 < L \leq 85$ | 4 | 4 |
| $85 < L \leq 105$ | 4 | 5 |
| $105 < L \leq 125$ | 5 | 6 |
| $125 < L \leq 145$ | 6 | 7 |
| $145 < L \leq 165$ | 7 | 8 |
| $165 < L \leq 185$ | 8 | 9 |
| $L > 185$ | to be special considered | |

2.3.1. *Stiffener*

Stiffener atau pengaku adalah pelat yang berfungsi sebagai badan profil dalam mendukung dalam kondisi dikenai beban. Batas kondisi biasanya seperti *web local yielding* atau leleh lokal pada *web* dan tekuk lokal *web*. Tekuk lokal terjadi apabila sebuah balok diberikan gaya tekan terpusat dan pergerakan *later* antara *flange* (Tumurang, 2016).

Dalam penentuan jenis dan dimensi *stiffener* yang digunakan maka diperlukannya menghitung modulus terlebih dahulu. Perhitungan modulus menggunakan rumus pendekatan BKI *Volume II section 11* sebagai berikut:

$$W = C_s \cdot a \cdot \ell^2 \cdot p \quad (\text{cm}^3) \quad (2.1)$$

Dimana:

- W = Modulus
- C_s = *Coefficients*
- a = *Spacing of stiffeners* [m]
- ℓ = *Unsupported span* [m]
- p = 9,81 x h [kN/m²]
- h = *Distance from the load centre of the structure to a point 1 m above the bulkhead deck at the ship side, for the collision bulkhead to a point 1 m above the upper edge of the collision bulkhead at the ship side*

2.4. Tegangan

Tegangan (*stress*) dapat didefinisikan sebagai perubahan gaya terhadap luas penampang daerah yang dikenai gaya. Tegangan diukur dalam bentuk per satuan luas. Tegangan normal adalah tegangan yang tegak lurus terhadap permukaan dimana tegangan tersebut diterapkan. Tegangan normal berupa tarikan atau tekanan. Satuan SI untuk tegangan normal adalah *Newton* per meter kuadrat (N/m²) atau *Pascal* (Pa). Tegangan dapat dihasilkan dari gaya seperti tarikan, tekanan atau geseran yang menarik, mendorong, melintir, memotong atau mengubah bentuk potongan bahan dengan berbagai cara. Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan sesuatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*). Tegangan normal merupakan tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang luas:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

Dimana:

- σ = Tegangan (N/mm²)
- F = Gaya yang bekerja ataubeban (N)
- A = Luas penampang (mm²)

2.5. Deformation

Deformasi merupakan perubahan bentuk atau dimensi dari sebuah material karena sebuah gaya yang bekerja. Deformasi pada material terjadi akibat gaya yang bekerja berupa tarikan, kekugatan geser, kekuatan lipat atau memutar.

Saat deformasi terjadi gaya internal antara molekul muncul berlawanan dengan beban atau gaya yang bekerja, jika gaya yang diberikan tidak melebihi kekuatan material maka memungkinkan material kembali ke kondisi semula ketika beban atau gaya kerja yang diberikan dihilangkan. Sebaliknya jika beban atau gaya yang bekerja melebihi kemampuan gaya internal antar-molekul material maka dapat menyebabkan kegagalan struktur atau deformasi permanen dari material. (Fathurakhman,2020)

Deformasi yang terjadi pada material dapat dihitung dengan Persamaan berikut:

$$\delta l = \varepsilon \cdot l = \sigma \cdot l / E = Pl / AE \quad (2.3)$$

Dimana:

δl = Deformasi material (m)

σ = Tegangan yang timbul pada material (N/m²)

ε = Regangan yang timbul pada material (N/m²)

P = Beban atau gaya yang bekerja pada material (KN/m²)

A = Luas penampang material (m²)

E = Modulus elastisitas material (N/m²)

l = Panjang material (m)

2.5.1 Deformasi Elastis

Elastisitas merupakan suatu sifat material yang dapat menyebabkan material memiliki kemampuan kembali ke bentuk seperti semula ketika diberikan beban dan kembali pada bentuk awal saat beban tersebut dihilangkan. Kemampuan benda

kembali ke bentuk awal sepenuhnya dinamakan elastis sempurna. Namun apabila tidak kembali ke kondisi awal sepenuhnya dinamakan elastis sebagian atau elastis parsial. (S. Timoshenko dan Goodier. 1986).

Elastisitas sebuah benda sangat ditentukan oleh modulus elastisitas, modulus elastisitas suatu benda didapat dari hasil bagi antara tegangan dan regangan:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.4)$$

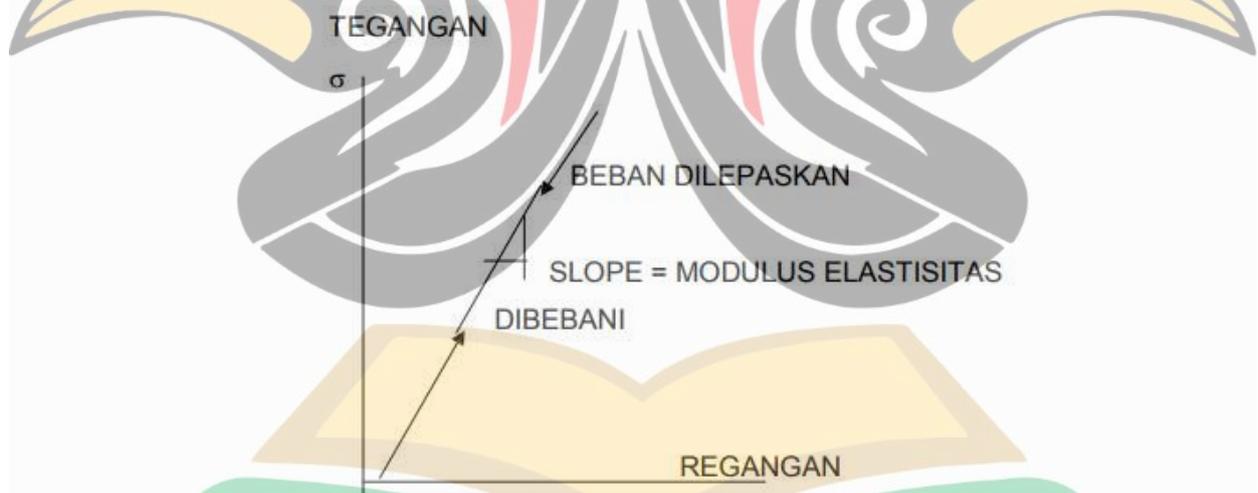
Dimana :

E = Modulus elastisitas (Mpa)

σ = Tegangan (Mpa)

ϵ = Regangan

Sebuah benda dapat dikatakan mengalami deformasi elastis jika tegangan dan regangan besarnya proporsional.



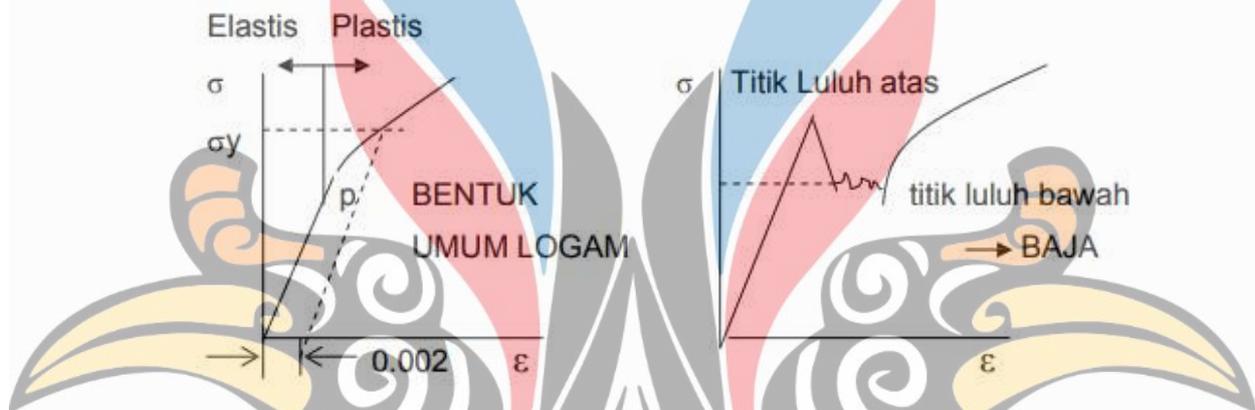
Gambar 2. 3 Grafik Tegangan Regangan

Deformasi elastis merupakan deformasi yang terjadi secara tidak permanen, artinya jika beban dihilangkan maka suatu benda akan kembali ke bentuk semula. (Buku Ajar Material Teknik 1, 2018).

2.5.2 Deformasi Plastis

Plastisitas merupakan suatu sifat yang dimiliki oleh suatu material, yaitu ketika suatu benda diberikan gaya yang bekerja dan menyebabkan benda mengalami perubahan bentuk atau deformasi kemudian beban tersebut dihilangkan namun benda tidak kembali ke kondisi awal atau ke bentuk semula.

Pada kebanyakan logam, deformasi elastis biasanya terjadi hanya sampai regangan 0.005. Jika bahan berdeformasi melewati batas elastis, tegangan tidak lagi proporsional terhadap regangan maka dapat dikatakan deformasi plastis

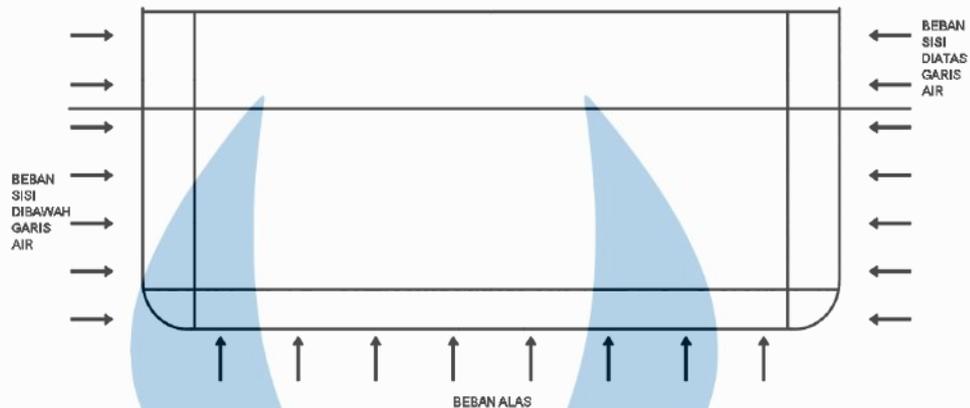


Gambar 2. 4 Grafik Elastis Plastis

Ketika beban dihilangkan namun suatu benda tidak kembali ke kondisi semula maka dapat dikatakan plastis. Pada kondisi deformasi plastis akan terjadi putusnya ikatan atom satu dengan yang lainnya dan akan terbentuk ikatan yang baru dengan atom lain. (Buku Ajar Material Teknik 1 , 2018).

2.6. Pembebanan Pada Kapal

Kapal dibuat untuk mengangkut barang dan penumpang melalui air dan juga untuk bekerja pada waktu berlabuh dan *docking*. Kapal mendapat beban yang besarnya tidak berubah-ubah, namun pada kondisi kapal berlayar dan bekerja beban yang diterima selalu berubah-ubah. Perubahan beban ini dapat terjadi dengan cepat dan juga dapat terjadi secara perlahan. Secara umum beban yang diterima kapal dapat kita dibedakan menjadi beban statis (tetap), beban statis semu (quasi statis), dan beban dinamis. (Aden, dkk. 2017)



Gambar 2. 5 Konsep pembebanan sisi dan alas kapal

Pada gambar 2.3 merupakan konsep pembebanan hidrostatis pada kapal bagian sisi kapal diatas dan dibawah garis air serta beban alas kapal besaran beban hidrostatis yang bekerja pada kapal dapat ditentukan dengan rumus pendekatan pada BKI *volume II section 4* sebagai berikut:

Beban sisi kapal diatas garis air

$$P_o = 2,1 \cdot (C_b + 0,7) \cdot C_o \cdot C_L \cdot f \quad (\text{kN/m}^2) \quad (2.5)$$

Dimana:

C_o = Wave coefficient

C_b = Block coefficient

F = Konstanta

C_L = length coefficient

C_{rw} = Service range coefficient

$$P_s = P_o \cdot C_F \cdot \frac{20}{10 + Z - T} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (2.6)$$

Dimana:

T = Jarak vertikal dari *baseline* ke garis sarat air

Z = Jarak vertikal dari pusat beban ke *base line*

C_f = Distribution factors

Untuk Beban sisi kapal dibawah garis air yaitu:

$$P_s = 10 \cdot (T + Z) + P_o \cdot C_F \cdot (1 + z/T) \quad (\text{kN/m}^2) \quad (2.7)$$

Dimana:

T = Jarak vertikal dari *baseline* ke garis sarat air

z = Jarak vertikal dari pusat beban ke *base line*

Cf = *Distribution factors*

Sedangkan untuk beban alas sebagai berikut:

$$P_B = (10 \cdot T) + (P_o \cdot C_F) \quad (\text{KN/m}^2) \quad (2.8)$$

Dimana:

T = Jarak vertikal dari *baseline* ke garis sarat air

Cf = *Distribution factors*

2.7 Flooding pada kapal

Flooding atau kompartemen kapal dalam kondisi banjir merupakan peristiwa yang dapat diakibatkan beberapa kejadian seperti tabrakan, kandas maupun kegagalan struktur pada kapal (Andrei dkk, 2018). Dalam kondisi *flooding*, stabilitas kapal akan sangat berpengaruh dan sangat berbahaya apabila kondisi stabilitas kapal semakin buruk maka keadaan tersebut akan menyebabkan kapal mengalami sudut kemiringan yang besar bahkan sampai kapal terbalik (Sinaga dkk, 2015).

Masuknya air pada lambung atau kompartemen kapal saat terjadi kecelakaan merupakan hal yang akan menjadi evaluasi pada industri maritim. Jika hal tersebut terjadi diperlukan adanya perbaikan dari berbagai macam aspek seperti desain dan lain lain untuk kapal baru dan juga kapal yang sudah beroperasi (Andrei dkk, 2018).

Perhitungan beban kapal dalam kondisi *flooding* dapat menggunakan rumus pendekatan IACS UR-S17 – UR-S20 sebagai berikut:

$$d1 = \frac{M_c}{\rho_c \cdot l_c \cdot B} + \frac{VLS}{l_c \cdot B} + (h_{HT} - h_{DB}) \times \frac{b_{HT}}{B} + h_{DB} \quad (2.9)$$

Dimana:

M_c = *Mass of cargo (tonnes) in hold No. 1*

ρ_c = *Bulk cargo density, (t/m³)*

l_c = *Length of hold No. 1 (m)*

- B = *Ship's breadth amidship* (m)
VLS = *Volum, of the bottom stool above the inner bottom* (m³)
hHT = *Height of the hopper tanks amidship from the baseline* (m)
hDB = *Height of the double bottom* (m)
bHT = *Breadth of the hopper tanks amidship* (m)

Setelah nilai d_1 didapatkan dengan hasil $d_f \geq d_1$ dengan pusat beban diantar d_f dan d_1 maka:

$$P_{cf} = \rho \cdot g \cdot h_f \quad (2.10)$$

Dimana:

- P_{cf} = *Beban dalam kondisi flooding*
 ρ = *Sea water density* (t/m³)
 g = *9.81 m/s², gravity acceleration*
 h_f = *Flooding head* (m)

2.8 Konsep Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah suatu metode numerik yang cocok digunakan dengan komputer digital. Dengan metode ini suatu elastik kontinum dibagi-bagi (*discretized*) menjadi beberapa substruktur (*element*) yang kemudian dengan menggunakan matriks, defleksi dari tiap titik (*node*) akan dihubungkan dengan pembebanan, properti material, properti geometrik, dan lain-lain.

Metode elemen hingga menjadi *favorite* karena telah digunakan secara luas untuk menyelesaikan persoalan mekanika dengan geometri yang kompleks. Beberapa hal yang membuat metode ini *favorite* karena secara komputasi sangat efisien, memberikan solusi yang cukup akurat terhadap permasalahan yang kompleks, dan untuk beberapa permasalahan metode ini mungkin merupakan satu-satunya cara. Tetapi karena analisa elemen hingga merupakan alat untuk simulasi maka desain yang tergantung pada *skill* dan kemampuan analisnya. (Saputra, 2012)

2.9 Safety Factor

Faktor keamanan (*safety factor*) adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik dari beban luar, yaitu berupa beban tekan maupun

tarik. Gaya yang diperlukan agar terjadi tingkat optimal bahan di dalam menahan beban dari luar sampai akhirnya menjadi pecah disebut dengan beban *ultimate* (*ultimate load*). Dengan membagi beban *ultimate* ini dengan luas penampang, kita akan memperoleh kekuatan *ultimate* (*ultimate strength*) atau tegangan *ultimate* (*ultimate stress*) dari suatu bahan. Untuk desain bagian-bagian struktur tingkat tegangan disebut tegangan ijin (*allowable stress*) yang dibuat lebih rendah daripada kekuatan *ultimate* yang diperoleh dari pengujian “statis”. Ini penting untuk berbagai pertimbangan (Wahyu Dwi Yuanto, 2013). Karena tegangan dikalikan luas sama dengan gaya, maka tegangan ijin dari *ultimate* dapat diubah dalam bentuk gaya atau beban yang diijinkan dan *ultimate* yang dapat ditahan oleh sebuah batang. Suatu perbandingan (*ratio*) yang penting dapat ditulis:

$$SF = \frac{\sigma \text{ Yield Stress}}{\sigma \text{ Working Stress}} \quad (2.11)$$

2.10 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan, ditunjukkan pada tabel 2.2:

Tabel 2.2 Daftar Penelitian Terdahulu

| No | Nama dan Tahun Publikasi | Hasil |
|----|--|---|
| 1 | <p>Josua Parulian Sinaga, Imam Pujo Mulyatno, Wilma Amiruddin, “ANALISA KEKUATAN VARIASI SISTEM KONSTRUKSI TRANSVERSE WATERTIGHT BULKHEAD PADA MULTI-PURPOSE CARGO/CONTAINER VESSEL 12000 DWT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA”, 2015</p> | <p>Permasalahan: Konstruksi struktur <i>transverse watertight bulkhead</i> adalah salah satu struktur yang sangat penting dikarenakan konstruksi ini harus mampu untuk menahan beban jika terjadi kemasukan air pada ruang muat.</p> <p>Metode: Metode Elemen Hingga</p> <p>Hasil: Berdasarkan hasil analisa didapatkan hasil tegangan <i>von mises maksimum</i> pada <i>corrugated</i> sebesar 139 N/mm² pada <i>node</i> 64928, <i>stiffener</i> berprofil “<i>TEE Section</i>” sebesar 165 N/mm² pada <i>node</i> 74297, <i>stiffener</i> berprofil “<i>Half Bulp</i>” sebesar 250 N/mm² pada <i>node</i> 79200 dan <i>stiffener</i> berprofil “<i>TEE Section dan Angel Bar</i>” sebesar 236 N/mm² pada <i>node</i> 74297. Hasil analisa yang didapatkan kemudian divalidasi dengan perhitungan <i>strength criteria</i> berdasarkan <i>rules</i> Biro Klasifikasi Indonesia yaitu sebesar 180 N/mm², dan standar faktor keamanan yang ditentukan Biro Klasifikasi Indonesia yaitu harus lebih dari 1 (satu).</p> |
| 2 | <p>Ardianus, Septia Hardy Sujiantanti, dan Dony Setyawan,</p> | <p>Permasalahan: <i>Corrugated bulkhead</i> divariasikan pada sudut yang berbeda dan <i>transverse bulkhead</i> berupa penguat horizontal atau penumpu. Kemudian dilakukan pemodelan dan analisis</p> |

| | | |
|--|--|---|
| | <p>“Analisis Kekuatan Konstruksi Sekat Kapal Melintang Tanker dengan Metode Elemen Hingga”, 2017</p> | <p>kekuatan konstruksi menggunakan finite element <i>software</i>. Sehingga mendapatkan perbandingan nilai kekuatan konstruksi masing-masing sekat.</p> <p>Metode: Metode Elemen Hingga</p> <p>Hasil: Tegangan terkecil berada pada corrugated bulkhead sudut 450 yaitu 76.6 N/mm^2 dan tegangan terbesar pada <i>transverse bulkhead</i> tanpa penumpu yaitu 145 N/mm^2. Deformasi terkecil pada <i>corrugated bulkhead existing</i> yaitu 2.48 mm dan deformasi terbesar pada <i>transverse bulkhead</i> tanpa penumpu yaitu 6.64 mm. Berat konstruksi terkecil pada <i>corrugated bulkhead existing</i> yaitu 38.1 ton dan berat konstruksi terbesar pada <i>transverse bulkhead</i> tanpa penumpu sebesar 49.5 ton. Konstruksi sekat yang paling murah adalah <i>corrugated bulkhead</i> sudut 64.360 (<i>existing</i>) dikarenakan mempunyai berat konstruksi terkecil dan nilai tegangan 85.4 N/mm^2 yang masih memenuhi tegangan ijin pada konstruksi <i>corrugated bulkhead existing</i> yaitu sebesar 38.1 ton.</p> |
|--|--|---|

