



## Analisa Kekuatan *Bracket* Pada Kapal Ro-Ro Menggunakan Aplikasi *Finite Element*

Alamsyah<sup>1\*</sup>, Amalia Ika Wulandari<sup>1</sup>, Bimo Harseno Ramadhan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Perkapalan, Jurusan Sains, Teknologi Pangan dan Kemaritiman,  
Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, \*Email: [alamsyah@lecturer.itk.ac.id](mailto:alamsyah@lecturer.itk.ac.id)

### Abstract

In the transverse frame of the ferry ro-ro, there is a construction of the amplifier called the bracket contained on the car deck. The bracket construction functions to connect 2 (two) other constructions such as transferred deck beam and frame. The purpose of this study is to determine the strength of the bracket against the maximum work stress that occurs after being compressed. The method used is a finite element analysis with the help of finite element based applications. On the bracket, modulus optimization will be carried out to approach yield strength after being subjected to deck loads and ship side loads. The results showed that the solid bracket had a modulus of  $w_{solid} = 1485.168 \text{ cm}^3$ , while the cross-section modulus of the bracket with a circle hole diameter 60 mm  $w_{60} = 1463.973 \text{ cm}^3$ , a bracket with a circle hole diameter 70 mm was  $w_{70} = 1451.511 \text{ cm}^3$ , and a bracket with a diameter circle hole 75 mm is  $w_{75} = 1443.771 \text{ cm}^3$ . Maximum working stress that occurs in solid brackets is  $\sigma_{max \text{ solid}} = 92.0871 \text{ N/mm}^2$ , with holes 60 mm ie  $\sigma_{max \text{ d60}} = 96.6237 \text{ N/mm}^2$ , and with holes 70 mm ie  $\sigma_{max \text{ d70}} = 155.999 \text{ N/mm}^2$ , does not exceed yield stress ( $\sigma_{max} < \sigma_y = 250 \text{ N/mm}^2$ ). While the bracket tension with the hole 75 mm is  $\sigma_{max \text{ d75}} = 272.861 \text{ N/mm}^2$ , exceeding the yield stress ( $\sigma_{max} < \sigma_y = 250 \text{ N/mm}^2$ ). So that the perforation on bracket construction can be done only on diameter sizes  $d = 60 \text{ mm}$  and  $70 \text{ mm}$ . This information can minimize the use of steel material that has an effect on the ship's steel weight calculation.

**Keywords** : bracket, finite element, stress

### Abstrak

Pada konstruksi melintang kapal ferry ro-ro terdapat konstruksi penguat yang dinamakan bracket yang terdapat pada cardeck. Konstruksi bracket berfungsi menghubungkan 2 (dua) konstruksi lainnya seperti transver deck beam dan frame. Tujuan penelitian ini mengetahui kekuatan bracket terhadap tegangan kerja maximum yang terjadi setelah mendapat beban tekan. Metode yang digunakan yakni finite element analysis dengan bantuan aplikasi berbasis elemen hingga. Pada bracket akan dilakukan optimasi modulus sampai mendekati kekuatan luluh setelah mendapat beban geladak dan beban sisi kapal. Hasil penelitian didapatkan bracket solid mempunyai modulus sebesar  $w_{solid} = 1485,168 \text{ cm}^3$ , sedangkan modulus penampang bracket dengan diameter lubang lingkaran 60 mm  $w_{60} = 1463,973 \text{ cm}^3$ , bracket dengan diameter lubang lingkaran 70 mm adalah  $w_{70} = 1451,511 \text{ cm}^3$ , dan bracket dengan diameter lubang lingkaran 75 mm adalah  $w_{75} = 1443,771 \text{ cm}^3$ . Tegangan kerja maximum yang terjadi pada bracket solid yakni  $\sigma_{max \text{ solid}} = 92,0871 \text{ N/mm}^2$ , dengan lubang 60 mm yakni  $\sigma_{max \text{ d60}} = 96,6237 \text{ N/mm}^2$ , dan dengan lubang 70 mm yakni  $\sigma_{max \text{ d70}} = 155,999 \text{ N/mm}^2$ , tidak melebihi tegangan luluh ( $\sigma_{max} < \sigma_y = 250 \text{ N/mm}^2$ ). Sedangkan tegangan bracket dengan lubang  $d = 75 \text{ mm}$  yakni  $272,861 \text{ N/mm}^2$ , melebihi tegangan luluh ( $\sigma_{max} > \sigma_y = 250 \text{ N/mm}^2$ ). Sehingga pelubangan pada konstruksi bracket bisa dilakukan hanya pada ukuran

diameter  $d = 60$  mm dan  $70$  mm. Informasi ini dapat meminimalisir penggunaan material baja yang berefek pada kalkulasi berat baja kapal.

Kata kunci : *bracket, elemen hingga, tegangan.*

---

## 1. Pendahuluan

Menurut pasal 309 ayat (1) KUHD, “kapal” adalah semua alat berlayar, apapun nama dan sifatnya. Termasuk didalamnya adalah : kapal karam, mesin pengeruk lumpur, mesin penyedot pasir, dan alat pengangkut terapung lainnya. Meskipun benda-benda tersebut tidak dapat bergerak dengan kekuatannya sendiri, namun dapat digolongkan kedalam “alat berlayar” karena dapat terapung/mengapung dan bergerak di air (Pranoto, 2012). Ketika kapal berlayar di laut lepas, keadaan lingkungan akan menjadi suatu hambatan yang akan menguji kekuatan struktur kapal tersebut (Hidayat, 2017).

Bahan kapal yang diantaranya mengandung logam perlu memiliki kekuatan tarik yang baik dengan ketahanan yang baik dan kemampuan produksi yang baik (Laksono, 2019). Kekuatan kapal sangat berkaitan dengan kemampuan struktur kapal untuk menahan dan menerima berbagai beban yang diterimanya. Dalam pembangunan suatu kapal, selain perencanaan bentuk dan karakteristik badan kapal, juga perencanaan kekuatan dan susunan kapal itu sendiri. Kekuatan optimal sangat ditunjang oleh konstruksi kapal yang dapat didefinisikan sebagai komponen-komponen suatu bangunan kapal yang mendukung satu sama yang lain. Konfigurasi konstruksi pada suatu kapal juga sangat bervariasi, setidaknya terdapat 3 konfigurasi konstruksi pada perancangan kapal, yaitu konstruksi melintang, memanjang dan konstruksi campuran. Dimana setiap konfigurasi konstruksi tersebut tentu memiliki hasil yang berbeda baik dari segi kekuatan, ekonomis dan ketahanan (Rosyid, 2000). Sistem konstruksi melintang merupakan konstruksi dimana beban yang bekerja pada konstruksi diterima oleh pelat kulit dan diuraikan pada hubungan-hubungan kaku/balok memanjang dari kapal dengan bantuan balok yang melintang kapal (Utomo, 2018). Untuk melihat detail konstruksi melintang kapal dapat kita tinjau pada detail gambar teknik kapal yakni penampang *midship*. Komponen konstruksi melintang kapal yang terdapat pada penampang *midship* yakni *wrang*, *man hole*, *lightening hole*, *web frame*, *main frame*, *bottom Frame*, gading balik (*reverse frame*), balok geladak melintang (*transverse deck eam*) dan *bracket* (Alamsyah, 2019).

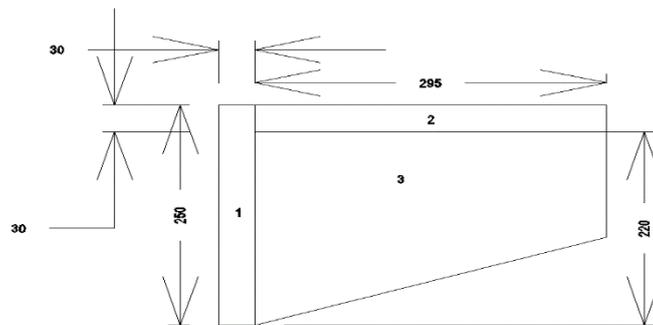
Pada konstruksi di kapal perlu adanya kekuatan tambahan sebagai penopang yang dinamakan *bracket* secara umum didefinisikan sebagai suatu konstruksi dari bahan logam, aluminium, plastik, dan kayu yang berfungsi sebagai penopang atau penahan suatu konstruksi tersebut agar tidak mengalami pembengkokan atau deformasi pada suatu konstruksi tersebut. *Bracket* kapal yaitu konstruksi kapal pada *midship section* kapal merupakan pelat siku yang berfungsi sebagai penguat sambungan antara dua elemen konstruksi, misalnya digunakan pada sambungan antara balok geladak dengan gading besar (*web frame*) atau dengan gading utama (Rosyid, 2000). Beban yang bekerja pada *bracket* akan menimbulkan masalah seperti deformasi, keretakan, kerusakan, dll (Mulyatno, 2012). Beban *racking* merupakan beban yang mengakibatkan tegangan pada sudut badan kapal lutut bilga dan lutut balok geladak sebagai akibat hempasan gelombang pada sisi kapal, atau pada saat kapal mengalami *rolling* sehingga dibutuhkan konstruksi *bracket* sebagai kekuatan tambahan. Pada penelitian ini akan dilakukan optimasi ukuran *bracket* untuk mereduksi kebutuhan pelat kapal karena pada penelitian kapal kecil dengan ( $L < 100$  m) menggunakan sistem konstruksi melintang (*transverse framing system*) dimana jumlah elemen konstruksinya lebih banyak dan berakibat lebih berat untuk kapal dengan ukuran panjang maupun *displacement* sama (Hardjono, 2017). Proses optimasi dilakukan dengan melubangi bagian tengah *bracket* dengan parameter kekuatan luluh material. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tegangan kerja maksimal dari *bracket* setelah diberikan pembebanan tekan (*side load* dan *deck load*). Beban geladak (*load deck*) yang digunakan berdasarkan perhitungan beban geladak cuaca (*load on weather decks*) begitu juga dengan beban sisi perhitungannya berdasarkan beban luar sisi kapal (*load on ship sides*) (BKI, 2014).

Penelitian menggunakan aplikasi berbasis *finite element* dimana prosedur numerik yang dapat

digunakan untuk menemukan solusi dari berbagai macam masalah dalam bidang keteknikan (Saeed, 1999). Dari sudut pandang teknik (*engineering*), FEM adalah metode yang digunakan untuk mencari besarnya deformasi (*displacement*) pada tiap titik (*nodes*) pada suatu objek, kemudian digunakan untuk memperoleh nilai besar tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*). Metode elemen hingga (*finite element*) memperluas metode matriks perpindahan ke analisis kontinum struktural. Kontinum elastis suatu pelat diganti dengan struktur pengganti, yang terdiri dari elemen-elemen diskrit yang saling berhubungan hanya di titik-titik simpul. Hubungan ini bersifat sedemikian rupa sehingga kontinuitas tegangan dan perpindahan yang sebenarnya pada pelat bisa didekati oleh perpindahan titik simpul elemen tersebut (Mulyatno, 2011). Pemodelan 3D *bracket* pada software berbasis elemen hingga merupakan sebuah upaya untuk mendekati kondisi yang sebenarnya sehingga diharapkan hasil penelitian bisa akurat.

## 2. Metode

Metode penelitian menggunakan *finite element method*, dimana objek penelitian adalah sebuah *bracket* yang terdapat pada konstruksi *cardeck* kapal *ferry RO – RO* yang menghubungkan antara *transverse deck beam* dan *frame*. Untuk mendapatkan kekuatan batas *bracket* dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahap yakni tahap pertama studi literatur, identifikasi, perumusan masalah dan pengambilan data. Sampel konstruksi *bracket* yang dijadikan objek penelitian adalah *bracket* pada kapal *ferry ro-ro* yang terdapat pada *cardeck*. Dimensi *bracket* ditunjukkan pada Gambar 1.



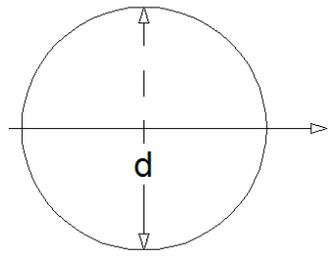
Gambar 1: Dimensi *bracket*

Gambar 1 menunjukkan dimensi dari *bracket* yang digunakan adalah lebar ( $b$ ) = 325 mm, tinggi ( $h$ ) = 250 mm, dan tebal ( $t$ ) = 10 mm. Tahap kedua adalah perhitungan nilai modulus konstruksi *bracket*. Sebelum menghitung nilai modulus, terlebih dahulu dihitung luasan *bracket* dengan membaginya menjadi beberapa bentuk penampang seperti pada Gambar 2 (Yunianto, 2018). Modulus penampang merupakan nilai suatu perbandingan antara momen inersia suatu penampang terhadap sumbu yang melalui titik berat penampang (sumbu netral) dengan jarak terjauh dari ujung penampang ke titik berat penampang tersebut. Dalam perhitungan modulus penampang melintang suatu kapal, harus terlebih dahulu diketahui momen inersia total dari penampang tersebut, sehingga perlu dihitung momen inersia pada setiap penampang melintang atau elemen- elemen konstruksi (momen inersia pribadi) (Aden, N., 2017). Cara menentukan modulus penampang untuk beberapa bentuk penampang ditunjukkan pada Gambar 2.

$$W = \frac{bh^2}{6} \tag{1}$$

Dimana,  
 $W$  = modulus ( $\text{cm}^3$ )  
 $b$  = lebar (cm)  
 $h$  = tinggi (cm)

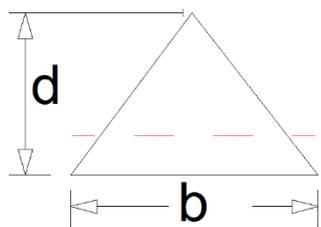
Gambar 2a: Rumusan modulus penampang persegi



$$W = \frac{\pi d^3}{32} \quad (2)$$

Dimana,  
 $W$  = modulus ( $\text{cm}^3$ )  
 $d$  = diameter (cm)

Gambar 2b: Rumusan modulus penampang lingkaran

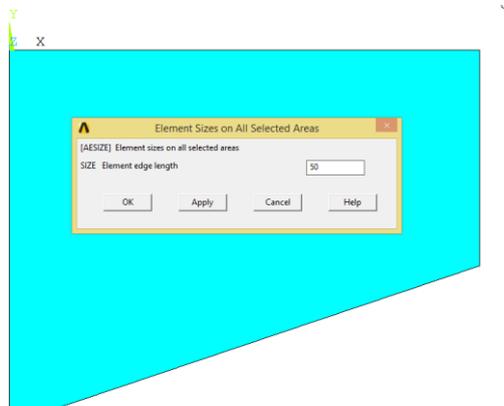


$$W = \frac{bd^2}{24} \quad (3)$$

Dimana,  
 $W$  = modulus ( $\text{cm}^3$ )  
 $d$  = tinggi (cm)  
 $b$  = alas (cm)

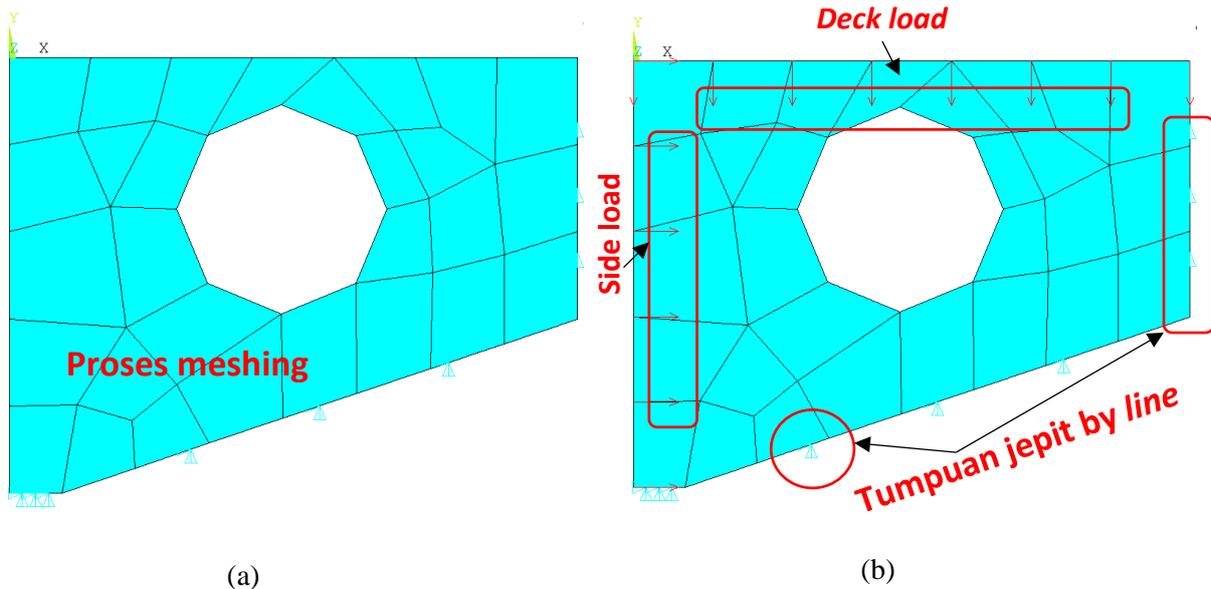
Gambar 2c: Rumusan modulus penampang segitiga

Tahap ketiga adalah pemodelan *bracket* pada aplikasi berbasis elemen hingga. Dimensi *bracket* yang terdapat pada Gambar 1 kemudian dipindahkan pada *software* berbasis elemen hingga untuk memudahkan dalam menganalisa kekuatannya. Pemodelan *bracket* pada *software* berbasis elemen hingga ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3: Pemodelan *bracket* pada aplikasi berbasis elemen

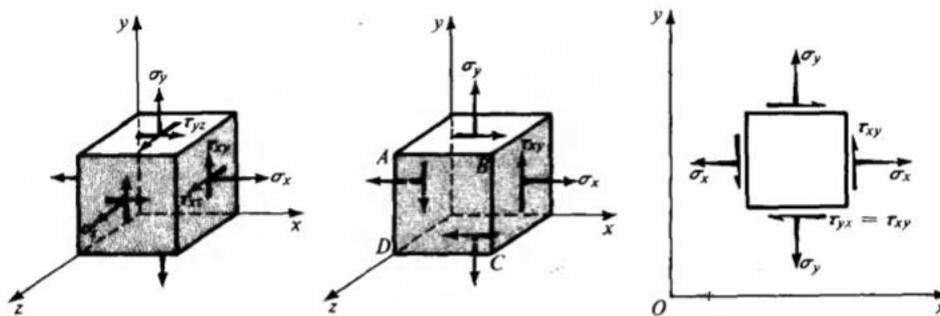
Gambar 3 menunjukkan pemodelan *bracket* yang merupakan langkah awal dalam menganalisa kekuatan *bracket*. Setelah pemodelan selesai selanjutnya dilakukan *meshing*. Proses *meshing* adalah membagi luasan penampang menjadi elemen-elemen kecil berbentuk persegi. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah metode elemen hingga (*finite element*) dengan bantuan *software* numerik (Junbo, 2005). Tahap keempat dilakukan pemberian kondisi batas pada model *bracket*. Kondisi batas yang dimaksud adalah berupa tumpuan pada konstruksi *bracket* dan beban-beban yang diderita *bracket* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4: a) Proses *meshing* pada model *bracket* dengan aplikasi berbasis elemen hingga, b) Pemberian kondisi batas pada model *bracket* dengan aplikasi berbasis elemen hingga.

Gambar 4a menunjukkan proses *meshing* pada *bracket*, sedangkan Gambar 4b menunjukkan pemberian kondisi batas. Tumpuan yang digunakan adalah tumpuan jepit (*fixed support*) *by line*, sedangkan untuk pembebanannya berupa beban terdistribusi merata pada sisi atas dan sisi samping *bracket*. Untuk menentukan nilai beban digunakan persamaan menurut BKI agar kondisi beban menyerupai kondisi yang sebenarnya.

Tahap kelima adalah analisa hasil tegangan maksimum yang terjadi pada *bracket*. Tegangan adalah vektor orde tinggi (tensor urutan kedua dalam teori elastisitas matematis), sebagai tambahan untuk memiliki besar dan arah, tegangan-tegangan tersebut juga bersangkutan dengan aturan satuan luas atas mana mereka bekerja (popov & Astamar, 1984). Ilustrasi fenomena tegangan yang terjadi pada suatu bidang (*element*) ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 : Ilustrasi tegangan pada bidang.  
Sumber: Popov, 1984.

Gambar 5 menunjukkan fenomena tegangan yang memiliki arah  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  yang disebut tegangan normal. Sedangkan tegangan yang merupakan kombinasi arah  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  disebut tegangan geser.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Perhitungan Modulus penampang *Bracket*

Berikut ini adalah perhitungan penampang *bracket solid* menggunakan perpaduan persamaan (1), dan (3) didapatkan nilai modulus yakni  $W = 1.485,168 \text{ cm}^3$ . Untuk perhitungan modulus *bracket* dengan

lubang, terlebih dahulu ditentukan modulus lingkarannya dengan menggunakan persamaan (2) sebagai berikut :

- a. Modulus lingkaran 60 mm didapatkan modulus sebesar  $W = 21,195 \text{ cm}^3$
- b. Modulus lingkaran 70 mm didapatkan modulus sebesar  $W = 33,656 \text{ cm}^3$
- c. Modulus lingkaran 75 mm didapatkan modulus sebesar  $W = 41,396 \text{ cm}^3$

Setelah modulus lingkaran didapatkan, langkah selanjutnya dilakukan pengurangan antara modulus bracket solid dengan masing-masing variasi lubang sehingga didapatkan sebagai berikut :

$$W_{\text{bracket dengan lubang}} = W_{\text{bracket solid}} - W_{\text{diameter lingkaran}} \quad (4)$$

$$W_{60\text{mm}} = 1.485,168 \text{ cm}^3 - 21,195 \text{ cm}^3$$

$$= 1.463,973 \text{ cm}^3$$

$$W_{70\text{mm}} = 1.485,168 \text{ cm}^3 - 33,656 \text{ cm}^3$$

$$= 1.451,511 \text{ cm}^3$$

$$W_{75\text{mm}} = 1.485,168 \text{ cm}^3 - 41,396 \text{ cm}^3$$

$$= 1.443,771 \text{ cm}^3$$

### 3.2 Perhitungan Persentase Pengurangan Bracket

Pada perhitungan ini adalah untuk menentukan nilai persentase pengurangan luasan *bracket* berupa lingkaran dengan diameter tertentu. Untuk nilai persentase pengurangannya ditentukan dengan persamaan berikut :

$$P (\%) = \frac{\text{modulus lingkaran}}{\text{Total modulus bracket}} \times 100\% \quad (5)$$

Sehingga didapatkan nilai persentase pengurangan *bracket* sebagai berikut :

- a. *Bracket* dengan lubang diameter sebesar 60 mm .

$$\frac{\text{modulus lingkaran 60 mm}}{\text{Total modulus bracket}} \times 100\% = \frac{21195}{1485168} \times 100\% = 14\%$$

- b. *Bracket* dengan diameter lubang sebesar 70 mm

$$\frac{\text{modulus lingkaran 70 mm}}{\text{Total modulus bracket}} \times 100\% = \frac{33656.875}{1485168} \times 100\% = 22\%$$

- c. *Bracket* dengan diameter lubang sebesar 75 mm

$$\frac{\text{modulus lingkaran 75 mm}}{\text{Total modulus bracket}} \times 100\% = \frac{41396.484}{1485168} \times 100\% = 27.5\%$$

### 3.3 Perhitungan Beban Geladak Cuaca (Load on weather decks)

Pada simulasi menggunakan aplikasi berbasis *finite element* dibutuhkan *input* beban yang diderita oleh *bracket*. Salah satu bebannya yakni beban geladak cuaca. Besarnya beban geladak cuaca ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut (BKI, 2014) :

$$P_D = P_o \times 20 \times T / (10 + Z - T) H \times C_D \quad (6)$$

$$= 49,53 \text{ KN/mm}^2$$

di mana

$$T = \text{sarat kapal (m)}$$

$$C_D = 1.0$$

$$P_o = 2,1(C_b + 0,7) C_o \times C_L \times f \quad (7)$$

$$= 15,15 \text{ KN/m}^2$$

$$C_o = L/25 + 4,1 (\text{untuk } L < 90\text{m}) \quad (8)$$

$$= 6,6072$$

$$\begin{aligned}
 L &= \text{panjang kapal (m)} \\
 C_l &= 1/(2-L/90) \text{ (untuk } L < 90\text{m)} \\
 &= 1.00 \\
 f &= 1.0 \\
 z &= H \text{ (tinggi kapal)}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Sehingga beban geladak yang terdapat pada *bracket* adalah

$$\begin{aligned}
 49,53/15 &= x/325.10^{-3} \\
 x &= 1,073 \text{ KN/mm}^2 = 1073 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

### 3.4 Perhitungan Beban Luar sisi kapal ( Load on ship sides )

Selain beban geladak *bracket* juga disimulasikan menerima beban luar sisi kapal untuk bagian dengan pusat beban yang berada di atas garis air. Untuk menentukan beban sisi pada kapal digunakan persamaan sebagai berikut (BKI, 2014) :

$$\begin{aligned}
 P_s &= P_o \times C_f \times 20 / (10 + Z_2 - T) \\
 &= 31,99 \text{ KN/m}^2
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

di mana :

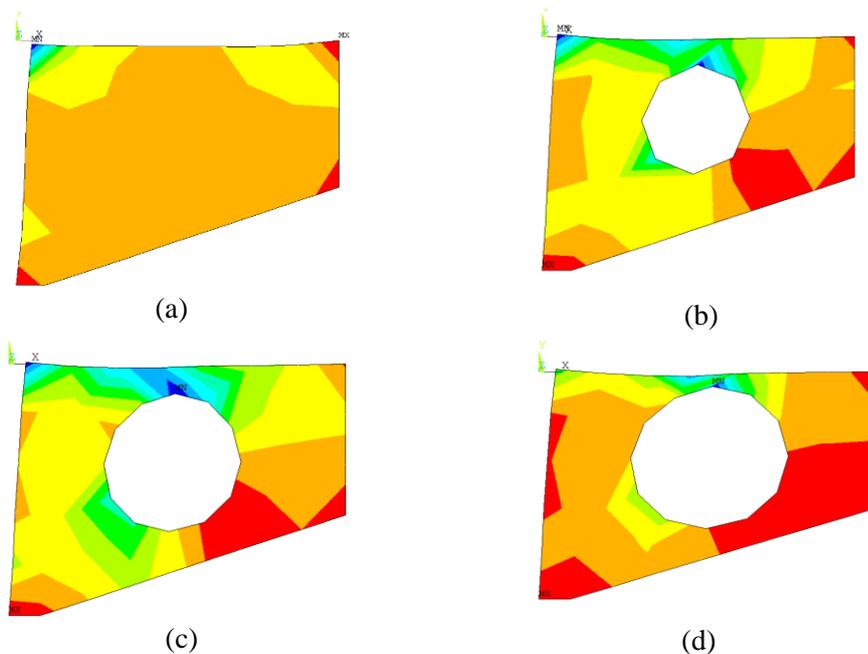
$$\begin{aligned}
 Z_2 &= ((H-T)/2)+T \\
 Z_2 &= 2,95 \text{ meter} \\
 C_f &= 1.0 \\
 P_o &= 15,1 \text{ KN/mm}^2
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

Sehingga beban luar sisi kapal yang diterima *bracket* adalah

$$\begin{aligned}
 31.99/3.5 &= x/25.10^{-2} \\
 x &= 2,285 \text{ KN/mm}^2 = 2.285 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

### 3.5 Hasil Pengujian Menggunakan Aplikasi Finite Element

Berdasarkan simulasi pengujian *bracket* dengan menggunakan aplikasi *finite element analysis (FEA)* maka didapatkanlah hasil seperti Gambar 6 sebagai berikut:



Gambar 6: a) *Bracket solid*, b) dengan lubang 60 mm, c) dengan lubang 70 mm, dan d) dengan lubang 75 mm.

Gambar 6a menunjukkan *stress* yang terjadi pada *bracket solid* yakni  $\sigma_{max} = 92,0871 \text{ N/mm}^2$ , sedangkan Gambar 6a, 6b, dan 6c menunjukkan *stress* yang terjadi pada *bracket* dengan lubang 60 mm, 70 mm, dan 75 mm yakni secara berturut-turut sebesar  $\sigma_{max} = 96,6237 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{max} = 155,999 \text{ N/mm}^2$ , dan  $\sigma_{max} = 272,861 \text{ N/mm}^2$ . Nilai tegangan maksimum ( $\sigma_{max}$ ) *bracket* yang didapatkan dari perhitungan *finite element* kemudian dibandingkan dengan tegangan luluh material yakni  $\sigma_{yield} = 250 \text{ N/mm}^2$ . Kontur gradasi warna pada gambar menunjukkan nilai masing-masing tegangan. Warna merah manandakan tegangan maximum sedangkan warna biru menunjukkan tegangan minimum. Pada *bracket* dengan lubang 60 mm dan 70 mm didapatkan tegangan yang bekerja di bawah tegangan luluh, sedangkan untuk *bracket* dengan variasi lubang 75 mm didapatkan tegangan bekerja berada di atas tegangan luluh. Dengan persentase pengurangan luasan yang masih di bawah kekuatan luluh material *bracket* yakni  $P\% \leq 22 \%$ . Tegangan maksimum yang bekerja pada *bracket*, hasilnya linier dengan nilai persentase pengurangan luasan pada *bracket* dan berbanding terbalik dengan nilai perhitungan modulus *bracket*. Hal ini senada dengan penelitian lainnya bahwa pengaruh modulus penampang kapal terhadap kekuatan batas kapal ( $M_u$ ) berbanding lurus dengan nilai tegangan kerja kapal ( $\sigma$ ) dimana semakin besar modulus penampang kapal ( $w$ ) maka semakin kecil tegangan kerja ( $\sigma$ ) yang terjadi pada kapal (Lestari, 2018).

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa tegangan yang bekerja pada *bracket* dengan lubang  $d = 60 \text{ mm}$ , dan dengan lubang  $d = 70 \text{ mm}$  diperoleh nilai secara berturut-turut adalah  $92,0871 \text{ N/mm}^2$ ,  $96,6237 \text{ N/mm}^2$ ,  $155,999 \text{ N/mm}^2$  (tidak melebihi tegangan luluh  $\sigma_{max} < \sigma_y = 250 \text{ N/mm}^2$ ), sedangkan tegangan *bracket* dengan variasi lubang  $d = 75 \text{ mm}$  yakni  $272,861 \text{ N/mm}^2$  (melebihi tegangan luluh  $\sigma_{max} > \sigma_y = 250 \text{ N/mm}^2$ ). Sehingga pelubangan pada konstruksi *bracket* bisa dilakukan hanya pada lubang  $d = 60 \text{ mm}$  dan  $d = 70 \text{ mm}$  sedangkan dengan lubang  $75 \text{ mm}$  tidak direkomendasikan.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami kepada pihak yang telah membantu dalam penulisan ini yakni tim peneliti laboratorium struktur Teknik Perkapalan ITK, Laboratorium Perencanaan Gambar Desain Konstruksi dan Permesinan Kapal ITK dan tim *reviewer* SPECTA Journal of Technology yang tidak kami ketahui, sehingga paper ini bisa terpublikasi.

#### Daftar Pustaka

- Aden, N., Zakki, A. F., dan Rindo, G. (2017). Analisa Pengaruh Perubahan Jarak Gading Kapal Pada Struktur Kekuatan Kapal Ro-Ro 500 GT Untuk Mendapatkan Desain Optimal. *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 5, No. 4 : 697-706
- Alamsyah, (2019). Perencanaan Kekuatan & Konstruksi Kapal, Karanganyar : Penerbit Surya Pustaka Ilmu
- BKI. (2014). *BKI Rules for Hull*, Tanjung Priok : Penerbit Biro Klasifikasi Indonesia.
- Hardjono, S. (2017). 'Comparative Impact Analysis of Increasing Ship's Length and Breadth Toward Lightweight, *Warta Penelitian Perhubungan*, Vol. 29, No. 1 : 65-74.
- Hidayat, T. N. (2017). Kekuatan Memanjang dan Longitudinal Buckling Pada Kapal Survei Seismik Geomarin IV, available from : [http://repository.its.ac.id/45223/7/4313100078-Undergraduate\\_Theses.pdf](http://repository.its.ac.id/45223/7/4313100078-Undergraduate_Theses.pdf)
- Junbo Lia, dan Anders Ulfvarson. (2005) "Structural behaviour of a high tensile steel deck using trapezoidal stiffeners and dynamics of vehicle– deck interactions" Chalmers University of Technology, Gothenburg 412 96, Sweden.
- Laksono, A. D., & Tanjung, R. A. (2019). Studi Metode Pendinginan Super Cepat untuk Pembentukan Bulk Metallic Glasses pada Paduan Cu45Zr45Al5Ag5. *SPECTA Journal of Technology*, 3(2), 10-17.
- Lestari, P. A. N. (2018). Analisis Pengaruh Modulus Penampang Terhadap Kekuatan Batas Kapal Double Hull Tanker (Studi Kasus Kapal Tanker T3 Dan Kapal Tanker T4), available from : [http://digilib.unhas.ac.id/uploaded\\_files/temporary/DigitalCollection/NGVINWFjNzRmNjJiOGJIYThjNDAzZWY1NjE3OTcwMWMwOGU4MTNiNg==.pdf](http://digilib.unhas.ac.id/uploaded_files/temporary/DigitalCollection/NGVINWFjNzRmNjJiOGJIYThjNDAzZWY1NjE3OTcwMWMwOGU4MTNiNg==.pdf)
- Mulyatno, I. P., Arswendo, B., dan Alan, M. (2012). Analisa Kekuatan Konstruksi *bracket towing hook* Pada Tb. Bontang Dengan Metode Elemen Hingga dan Rules BKI, KAPAL, Vol. 9, No.1 : 1-5.

- Mulyatno, I. P., dan Pratama, A. (2011). Analisa Kekuatan Konstruksi *Car Deck* Pada Kapal KM. Dharma *Ferry* 3 Dengan Metode Elemen Hingga, KAPAL, Vol. 8, No.2 : 53-61.
- Popov, E. P., dan Astamar, Z. (1984). Mekanika Teknik, Terjemahan *Mechanic of Material* Edisi Kedua Versi SI, hal. 260-261, Jakarta Pusat : Penerbit Erlangga Kramat IV.
- Pranoto, (2020). Perkapalan Laut, available from : [http://www.bppp-tegal.com/v1/index.php?option=com\\_content&view=article&id=164:perkapalanlaut&catid=44:artikel&Itemid=85](http://www.bppp-tegal.com/v1/index.php?option=com_content&view=article&id=164:perkapalanlaut&catid=44:artikel&Itemid=85)
- Rosyid, D., dan Setyawan, D. (2000). Kekuatan Struktur Kapal, Jakarta : Penerbit Pradnya Paramita.
- Saeed, M. (1999). *Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS* : Penerbit Prentice Hall
- Utomo, E. (2018). Perbandingan Desain Dermaga Terapung Pada Sistem Konstruksi Melintang dan Memanjang “Studi Kasus Dermaga Pelabuhan Tideng Pale Kabupaten Tana Tidung” *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 2 No. 1 : 1-13.
- Yunianto, M. Y., dan Hardianto, D. (2018). Kekuatan Struktur *Bracket* Yang Dilubangi Pada Konstruksi Kapal, dalam Seminar Nasional Kelautan XIII “Implementasi Hasil Riset Sumber Daya Laut dan Pesisir dalam Rangka Mencapai Kemandirian Ekonomi Nasioanl” Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, Surabaya.