

# ANALISA *FATIGUE* KONTRUKSI *DOUBLE BOTTOM* AKIBAT ALIH FUNGSI *FRESH WATER TANK* MENJADI RUANG *MOORING WINCH* PADA KAPAL ACCOMODATION WORK BARGE (AWB) 5640 DWT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Wahyu Wibowo<sup>1</sup>, Imam Pujo Mulyatno<sup>1</sup>, Andi Trimulyono<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Jurusan S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Email : [waywibowo@gmail.com](mailto:waywibowo@gmail.com)

## Abstrak

*Accommodation work barge* merupakan jenis kapal tongkang kerja yang tidak memiliki alat penggerak sendiri yang pada prinsipnya dipakai sebagai tempat akomodasi bagi karyawan perusahaan *offshore*. Kapal ini memiliki 8 jangkar dengan 2 *Mooring winch*, dimana peletakkannya berada di atas *double bottom* sehingga *double bottom* menerima beban tarik dan beban tekan. Pada daerah yang mengalami tegangan tersebut dilakukan analisa *fatigue* untuk meninjau titik paling rawan terjadinya kelelahan material dengan bantuan program numeric *Finite element method (FEM)* dan *MSC software*. Analisa yang digunakan adalah analisa beban dinamis yang berasal dari beban total dan gaya tarik *mooring winch*. Beban *mooring winch* sebesar 49 ton dan beban gaya tarik sebesar 421,77 KPa, batas lelah baja  $\sigma$  200 MPa. Hasil analisa *fatigue* diambil nilai *stress* terbesar dan diambil nilai siklus terpendek pada setiap variasi pembebanan. Berdasarkan tiga variasi kondisi pembebanan yaitu kondisi muatan penuh dan gaya tarik, kondisi *sagging* dan kondisi *hogging* memperoleh nilai *stress*. Kondisi beban *mooring* memperoleh nilai *stress* sebesar  $\sigma$  158 Mpa, siklus terpendek sebesar  $N$   $0,951 \times 10^8$  cycle, *fatigue factor of safety* 1,72, memiliki umur 27,77 tahun. Kondisi *sagging* memperoleh nilai *stress* sebesar  $\sigma$  158 MPa, siklus terpendek sebesar  $N$   $0,951 \times 10^8$  cycle, *fatigue factor of safety* 1,71, memiliki umur 27,77 tahun. Kondisi *hogging* memperoleh nilai *stress* sebesar  $\sigma$  158 Mpa, siklus terpendek sebesar  $N$   $0,951 \times 10^8$  cycle, *fatigue factor of safety* 1,71, memiliki umur 27,77 tahun.

Kata kunci : *Double bottom, fatigue, Accommodation work barge*

## Abstract

*Accommodation Work Barge* is a barge that doesn't have propulsion, in principle, used as an accommodation place for employees of offshore companies. This barge has 8 anchors with 2 mooring winch put above the double bottom so that the double bottom receives tensile and compressive load. Fatigue analysis is done in the areas that receive the load to see the most sensitive point of hotspot stress using Numeric Finite Element Method (FEM) program MSC Software. The analysis used in this study is dynamic load analysis derived from total load and tensile strength of mooring winch. Mooring winch load of 49 tonnes and load of 421,77 Kpa for tensile strength, fatigue limit for steel  $\sigma$  200 MPa. The result of fatigue analysis is taken from the highest stress value and the shortest cyclic on each load variation. Based on tree load condition that is full load and tensile strength, sagging condition and hogging condition obtain stress values. mooring load condition obtain stress  $\sigma$  158 Mpa, the shortest cyclic  $N$   $0,951 \times 10^8$  cycle, fatigue factor of safety 1,72, have a lifespan of 27,77 years. Sagging condition obtain stress  $\sigma$  158 Mpa, the shortest cyclic  $N$   $0,951 \times 10^8$  cycle, fatigue factor of safety, 71, have a lifespan of 27,77 years. Hogging condition obtain stress  $\sigma$  158 Mpa, the shortest cyclic  $N$   $0,951 \times 10^8$  cycle, fatigue factor of safety 1,71, have a lifespan of 27,77 years.

Key Word : *Double bottom, fatigue, Accommodation work barge*

## 1. PENDAHULUAN

Dewasa ini minyak dan gas bumi merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi masyarakat di seluruh dunia. Untuk itu dilakukan usaha untuk meningkatkan produktivitas dari migas tersebut, salah satunya adalah dengan cara mencari sumber minyak di daerah laut dalam (*deep water*). Oleh karena itu, dibutuhkan suatu penunjang yaitu *Accommodation Work Barge* (AWB) 5640 DWT untuk mencapai usaha tersebut, dimana peralatan tambat dari AWB tersebut harus memiliki syarat mampu memenuhi kebutuhan akomodasi pekerja di pengeboran minyak perairan dalam.

Dengan adanya syarat adar terpenuhinya kebutuhan akomodasi pekerja, maka diperlukan penggantian tambat seperti jangkar, rantai jangkar dan *mooring winch* yang memiliki kapasitas lebih besar untuk mencapai syarat tersebut. Oleh karena penambahan kapasitas tersebut, diperlukan ruang *mooring winch* yang lebih besar pula dengan jalan memodifikasi ruang *fresh water tank* yang semula berada di depan ruang *mooring winch*, sehingga ruang yang semula digunakan sebagai *fresh water tank* beralih fungsi menjadi ruang *mooring winch*.

Karena alih fungsi ini, beban yang diterima oleh *double bottom* menjadi berubah dikarenakan perubahan jenis muatan yang semula cairan berubah menjadi benda padat.

Namun perubahan beban ini tidak disertai dengan perubahan konstruksi dari *double bottom* sehingga dapat bertahan dalam kurun waktu berapa lama *double bottom*.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Accommodation Work Barge (AWB)

Menurut *American Boreau of Shipping* (2014), *Accommodation Work Barge* atau disingkat AWB merupakan jenis kapal tongkang kerja yang tidak memiliki alat penggerak sendiri yang pada prinsipnya dipakai sebagai tempat akomodasi bagi karyawan perusahaan yang bergerak dibidang pengeboran minyak lepas pantai maupun perusahaan lainnya yg bergerak dibidang kemaritiman. Kapal AWB ini dibuat agar dapat menampung lebih dari 36 orang termasuk ABK. Kapal AWB ini dapat melayani akomodasi bagi karyawan perusahaan saat kapal ditambat, oleh karena itu kapal ini cenderung diam dan dapat dipindahkan dengan bantuan tugboat. [1]

### 2.2 Konsep Pembebanan Pada Analisa Global

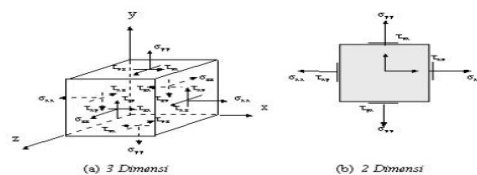
Analisa *fracture mechanics* merupakan bentuk analisa lokal dari sebuah struktur. Pembebanan yang bekerja pada analisa ini adalah pembebanan lokal yang diambil dari hasil analisa global suatu struktur secara keseluruhan. Oleh karena itu dibutuhkan pemahaman yang baik mengenai pembebanan secara global bangunan lepas pantai. Pada penelitian ini, pembebanan global untuk beban lingkungan yang ditinjau adalah hanya beban gelombang (dua puncak gelombang pada kedua ujung tanker dan satu puncak gelombang pada mid-ship). [3]

### 2.3 Tegangan (Stress)

Menurut Popov (1984), pada umumnya tegangan adalah gaya dalam yang bekerja pada luasan yang kecil tak hingga pada sebuah potongan dan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah. Gaya-gaya dalam ini merupakan vector dalam alam dan bertahan dalam keseimbangan terhadap gaya-gaya luar terpakai. Pada umumnya intensitas gaya yang bekerja pada luas yang kecil tak berhingga suatu potongan berubah - ubah dari suatu titik ke titik lain, umumnya intensitas gaya ini berarah miring pada bidang potongan. Dalam praktek keteknikan biasanya intensitas gaya diuraikan menjadi tegak lurus dan sejajar dengan irisan yang sedang diselidiki. Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (*normal stress*) pada sebuah titik. Suatu tegangan tertentu yang dianggap benar-benar bertitik tangkap pada sebuah titik, secara matematis didefinisikan sebagai :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

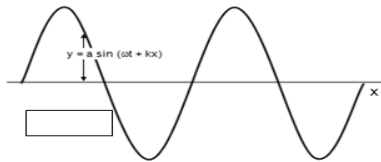
dimana P adalah suatu gaya yang bekerja tegak lurus terhadap potongan, sedangkan A merupakan luas yang bersangkutan. Selain itu tegangan normal dapat menghasilkan tegangan tarik, tegangan tekan dan tegangan geser. [7]



Gambar 1. Tegangan

## 2.4 Gelombang

Gelombang adalah bentuk dari getaran yang merambat pada suatu medium. Pada gelombang yang merambat adalah gelombangnya, bukan zat medium perantaranya. Satu gelombang dapat dilihat panjangnya dengan menghitung jarak antara lembah dan bukit (gelombang transversal) atau menghitung jarak antara satu rapatan dengan satu renggangan (gelombang longitudinal)



Gambar 2. Gelombang Transversal

Gelombang Jalan dalam arah x positif dengan persamaan:

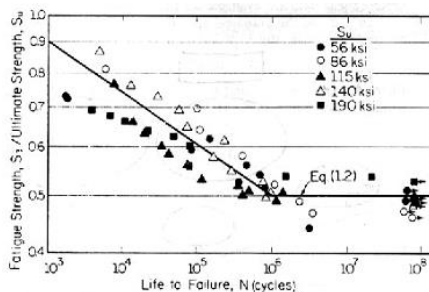
$$\text{Positive x direction : } y = a \sin(\omega t - kx) \quad (2)$$

dan untuk satu perjalanan dalam arah yang berlawanan:

$$\text{Negative x direction : } y = a \sin(\omega t + kx) \quad (3)$$

## 2.5 Hubungan Tegangan dan Regangan

Konsep tegangan-siklus (S-N) merupakan pendekatan pertama untuk memahami fenomena kelelahan logam. Konsep ini secara luas dipergunakan dalam aplikasi perancangan material dimana tegangan yang terjadi dalam daerah elastik dan umur lelah cukup panjang. Metoda S-N ini tidak dapat dipakai dalam kondisi sebaliknya (tegangan dalam daerah plastis dan umur lelah relatif pendek), hal ini dapat dilihat pada Gambar 3. Umur lelah [8]



Gambar 3. Kurva S-N beberapa baja yang di plot dalam ratio  $S_e/S_u$

## 2.6 Faktor Keamanan (Safety Factor)

Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik dari beban luar, yaitu 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*) dibuat benar-benar lebih rendah daripada kekuatan *ultimate* yang diperoleh dari pengujian “statis”. Ini penting untuk berbagai pertimbangan. Besar gaya yang dapat bekerja pada bangunan yang dirancang jarang diketahui secara pasti. [8]

Suatu perbandingan (*ratio*) yang penting dapat ditulis :

$$FS = \frac{\sigma_{Ultimate}}{\sigma_{ijin}} \quad (4)$$

Perbandingan ini disebut faktor keamanan (*factor of safety*) dan harus lebih besar dari satu. Faktor ini identik dengan perbandingan antara tegangan *ultimate* dengan tegangan ijin batang tarik. Untuk batang-batang dengan tegangan yang lebih rumit, definisi yang lama dapat kita sertakan, meskipun yang kita gunakan sebenarnya adalah perbandingan tegangan. Dari pembahasan yang berikut akan jelas terlihat bahwa keduanya tidaklah sinonim karena tegangan tidak selalu berbanding linier dengan beban. Pada industri pesawat terbang, istilah faktor keamanan digantikan oleh yang lain yang didefinisikan sebagai :

$$FS = \frac{\text{Beban ultimate}}{\text{Beban desain}} - 1 \quad (5)$$

## 2.7 Hukum II Newton

Hukum II Newton menyatakan bahwa jika gaya total yang bekerja pada sebuah benda tidak sama dengan 0 maka benda akan mengalami percepatan. Besar percepatan sebanding dengan besar gaya total dan berbanding terbalik dengan massa benda. Arah percepatannya sama dengan arah gaya total.

$$\sum F = m \times a \quad (6)$$

Dimana :

$$\sum F = \text{gaya total (kg.m/s}^2\text{)}$$

$$m = \text{massa (kg)}$$

$$a = \text{percepatan (m/s}^2\text{)}$$

berdasarkan persamaan diatas disimpulkan bahwa semakin besar gaya, semakin besar percepatan. Sebaliknya semakin besar massa, semakin kecil percepatan. [9]

Hukum II newton juga dapat diterapkan pada pesawat sederhana, dimana :

$$\begin{aligned} \sum F &= m \times a \\ W - T &= m \times a \end{aligned} \quad (7)$$

Dimana :

$$T = \text{Tegangan tali (N)}$$

Dimana rumus tegangan tali adalah :

$$r \times (T_2 - T_1) = I \times a/r \quad (8)$$

Dimana :

$$r = \text{jari - jari katrol}$$

$$I = \text{momen Inersia}$$

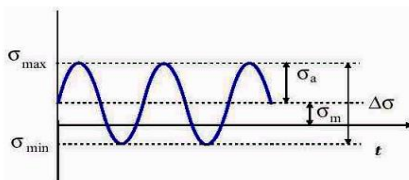
## 2.8 Definisi Kelelahan Material

*Fatigue* adalah kerusakan pada struktur karena sebagai tempat konsentrasi tegangan yang terjadi akibat beban siklis dari lingkungan (gelombang, angin arus dan lain-lain) yang bekerja secara terus menerus. Analisis kekuatan *fatigue* diterapkan pada semua struktur yang secara dominan menerima beban siklis, untuk memastikan integritas struktur dan untuk penelian kemungkinan kerusakan akibat *fatigue* sebagai dasar metode inspeksi yang efisien. Gelombang merupakan sumber penyebab terjadinya *fatigue cracking*. Akan tetapi, beban siklis lainnya juga berpengaruh pada *fatigue failure* dan harus diperhitungkan.

Diperkirakan 50% - 90% kegagalan mekanis adalah disebabkan oleh kelelahan.[3]

## 2.9 Konsep Mekanika Kepecahan

Mekanika kepecahan merupakan salah satu metode matematis yang digunakan untuk mempelajari semua perilaku material dengan menggunakan analisa struktur. Sedang pada kenyataannya untuk perencanaan suatu konstruksi dimana plat banyak digunakan sebagai komponen utama dalam perencanaan tersebut dapat dianggap mempunyai cacat.[2]



Gambar 2. Tegangan Siklik

Tegangan amplitudo:

$$S_a = \sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2 \quad (9)$$

Tegangan rata-rata:

$$S_m = \sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2 \quad (10)$$

Rasio tegangan:

$$R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} \quad (11)$$

Besarnya tegangan rata-rata yang bekerja akan menentukan terhadap besarnya tegangan amplitudo yang diijinkan untuk mencapai suatu umur lelah tertentu. Bila tegangan rata-rata sama dengan 0 atau rasio tegangan sama dengan -1, maka besarnya tegangan amplitudo yang diijinkan adalah nilai batas lelahnya ( $S_e$ ). Dengan demikian jika tegangan rata-ratanya semakin besar maka tegangan amplitudonya harus diturunkan. Hal ini terlihat pada alternatif diagram Goodman.[6]

Tabel 1 Persamaan dan koordinat perpotongan pada kuadran ke-1 untuk Goodman dan kriteria kegagalan lainnya.

Intersecting Equations	Intersection Coordinates
$\frac{S_o}{S_o} + \frac{S_m}{S_{lr}} = 1$ Load line $r = \frac{S_o}{S_m}$	$S_o = \frac{r S_o S_{lr}}{r S_{lr} + S_o}$ $S_m = \frac{S_o}{r}$
$\frac{S_o}{S_y} + \frac{S_m}{S_y} = 1$ Load line $r = \frac{S_o}{S_m}$	$S_o = \frac{r S_y}{1 + r}$ $S_m = \frac{S_y}{1 + r}$
$\frac{S_o}{S_o} + \frac{S_m}{S_{lr}} = 1$ $\frac{S_o}{S_y} + \frac{S_m}{S_y} = 1$	$S_m = \frac{(S_y - S_o) S_{lr}}{S_{lr} - S_o}$ $S_o = S_y - S_m, r_{crit} = S_o / S_m$
Fatigue factor of safety $n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{lr}}}$	

## 2.10 Metode Elemen Hingga

Metode yang digunakan dalam tugas akhir yang akan dibuat adalah metode permodelan dan analisis elemen hingga. Metode elemen hingga yang baru-baru ini dikembangkan telah terbukti merupakan perangkat yang canggih untuk analisis perbagai jenis masalah pelat dan struktur konstruksi, karena hasil yang diperoleh lebih disukai daripada penyelesaian teoritis, Metode elemen akhirnya akan menggantikan teknik analisis tegangan eksperimental untuk menentukan kekuatan elemen. Untungnya, koefisien kekakuan elemen yang langsung bisa digunakan umumnya telah tersedia dan memberikan hasil yang cukup tepat. Setelah koefisien kekakuan elemen ditentukan, analisis sistem struktural selanjutnya sama seperti metode matriks yang dipakai dalam mekanika teknik yang sudah ada program komputernya.

## 2.11 Perkiraan Fatigue

Perhitungan Fatigue dari struktur *double bottom* ini berdasarkan penerapan pada aturan Palmgren - Milner cumulative damage, dimana ketika fatigue damage ratio, DM memiliki nilai lebih dari satu maka dapat dipastikan bahwa struktur tersebut buruk. (harmonized CSR original 1<sup>st</sup> januari, 2014).

Nilai DM didapat melalui persamaan berikut:

$$DM = \sum_{i=1}^{n_{tot}} \frac{n_i}{N_i} \quad (12)$$

Dimana:

$n_{tot}$  = total jumlah tegangan

$N_i$  = jumlah siklus

Setelah nilai fatigue damage diketahui maka umur dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\text{Fatigue life} = \frac{\text{Design life}}{DM} \times \text{years} \quad (13)$$

Dimana:

Design life = 20 tahun, sesuai aturan DNV

DM. = Cumulative fatigue damage

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Studi Lapangan

Pengambilan data kapal baik ukuran maupun gambar rencana umum, *profile construction*, bukaan kulit, konstruksi *double bottom* kapal *Accommodation Work Barge 5640 DWT* dilakukan di PT. Marcopolo Shipyard, Batam.

### 3.2 Studi Literatur

1. Teori Elemen Hingga untuk mengetahui dasar-dasar perhitungan analisa struktur.
2. BKI Volume II Tahun 2014 digunakan dalam menentukan tegangan dan pembebanan.
3. Rules DNV dan BKI digunakan sebagai acuan untuk menentukan umur dari kapal.

### 3.3 Pengumpulan Data

Salah satu media untuk penelitian adalah pendekatan software, maka prosedur yang harus dilakukan adalah mempersiapkan data-data teknis untuk kemudian dianalisa. Sebagai langkah awal, untuk pemodelan *double bottom* pada kapal adalah sebagai berikut:

- Materi Penelitian

Materi penelitian yang dimaksud dalam penelitian ini meliputi data- data primer yang digunakan.

- Data –data penelitian

1. Ukuran utama kapal (Lpp, lebar kapal, sarat kapal)

*Type* = AWB

*Length Over Al* = 90,00 m

*Length P.P* = 30,00 m

*Bread Moulded* = 6,10 m

*Draft* = 4,00 m

2. Tebal material yang di analisa

Dalam pengambilan data metode yang digunakan :

Metode observasi gambar-gambar teknis yang bertujuan untuk memperoleh data – data yang bersifat primer.

### 3.4 Pengolahan Data

Pengolahan data dimulai setelah semua data yang di butuhkan diperoleh, kemudian data tersebut dikumpulkan dan diolah. Pengolahan data dimulai dengan tahapan sebagai berikut:

- Pembuatan Model *double bottom*

Membuat model *double bottom* dengan memasukkan data-data dimensi *double bottom* sesuai pembagian searah sumbu x, y, z menggunakan program MSC Patran.

- Pembebanan

Hasil model *double bottom* kapal tersebut diberi beban dan gaya-gaya yang mempengaruhi kelelahan material dengan menggunakan software MSC Patran.

- Analisa Kelelahan Material

Setelah diketahui pembebanan dan titik rawannya kemudian di analisa kelelahannya menggunakan MSC Nastran.

### 3.5 Penyajian Data Hasil Pengolahan Data

Semua hasil pengolahan data berupa gambar, grafik, serta perhitungan yang diperoleh hasil dari proses tersebut, kemudian dilakukan pengelompokkan agar mudah dalam penyusunan laporan.

### 3.6 Analisa Dan Pembahasan

Merupakan bagian akhir untuk mencapai hasil penelitian, yaitu didapatkannya kesimpulan final tugas akhir sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

### 3.7 Validasi

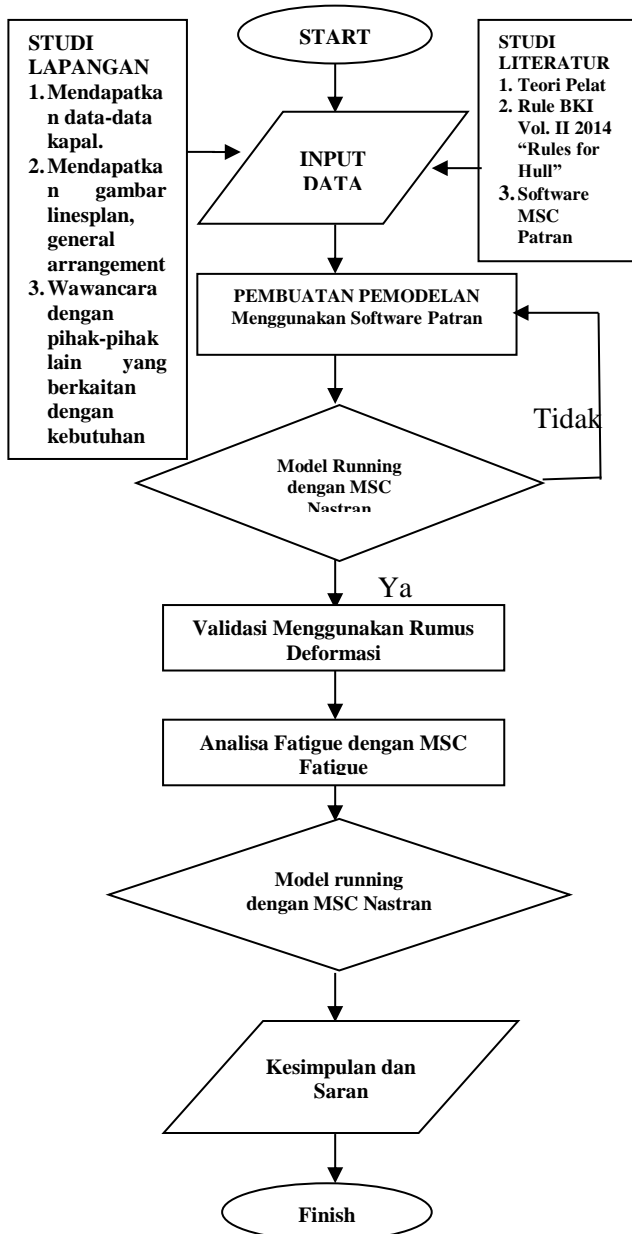
Validasi adalah tahapan untuk memperoleh gambaran apakah hasil analisa telah sesuai (*match*) dengan sistem yang diwakilinya (*representativeness*). Proses validasi ini bisa dijadikan parameter apakah hasil analisa yang sudah kita lakukan mendekati benar atau salah.

### 3.8 Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini diambil kesimpulan, kesimpulan diperoleh dari data yang telah diolah dan dianalisa sesuai dengan tujuan awal yang telah di tetapkan pada penelitian serta saran mengenai pengembangan penelitian lanjutan.

### 3.9 Flow Chart

Penyusunan penelitian Tugas Akhir ini didasarkan pada sistematika metodologi yang diuraikan berdasarkan urutan *flow chart* yang dilakukan mulai penelitian hingga selesainya penelitian.



Gambar 3. Diagram Flow Chart

## 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pendefinisian Beban

Beban pressure yang diinput pada model diasumsikan sebagai berikut :

$$\text{Mooring Winch + rantai} = 49 \text{ ton}$$

$$W_{mw} = 49 \text{ ton} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= 480,2 \text{ kN}$$

$$\text{Pressure} = 480,2 / (l. \text{pondasi} \times \text{jumlah})$$

$$= 480 / (0,28 \text{ m}^2 \times 6)$$

$$= 285,82 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pressure} = A \sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$= 285,82 \sin(2.2 \cdot 50.1 + 0,8)$$

$$= 202,81 \text{ kN/m}^2$$

Beban Force yang diinput pada model diasumsikan sebagai berikut :

$$m_1 = 7 \text{ ton (massa jangkar)}$$

$$m_2 = 100 \text{ kg (massa katrol 1)}$$

$$m_3 = 480 \text{ kg (massa katrol 2)}$$

$$m_4 = 480 \text{ kg (massa katrol 3)}$$

$$m_5 = 40 \text{ ton (massa mooring)}$$

$$\bullet \sum F = T_4 = m_5 \times a = 40000a$$

$$\bullet r \times (T_4 - T_3) = I \times a/r$$

$$r \times (40000a - T_3) = \frac{1}{2} \times m_4 r^2 \times a/r$$

$$T_3 = 39760a$$

$$\bullet r \times (T_3 - T_2) = I \times a/r$$

$$T_2 = 39520a$$

$$\bullet r \times (T_2 - T_1) = I \times a/r$$

$$T_1 = 39470a$$

$$\bullet \sum F = m \times a$$

$$W_1 - T_1 = m_1 \times a$$

$$T_1 = 68600 - 7000a$$

$$\bullet T_1 = 68600 - 7000a$$

$$39470a = 68600 - 7000a$$

$$a = 1,476 \text{ m/s}^2$$

$$\bullet T_4 = 59048,8 \text{ N} \times 2 \text{ jangkar}$$

$$= 118,09 \text{ kN}$$

Sehingga Gaya Tarik

$$\bullet \text{Force} = 118,09 \text{ kN} / (6 \times 0,28 \text{ m}^2)$$

$$= 421,77 \text{ kN/m}^2$$

### 4.2 Beban Sagging dan Hogging

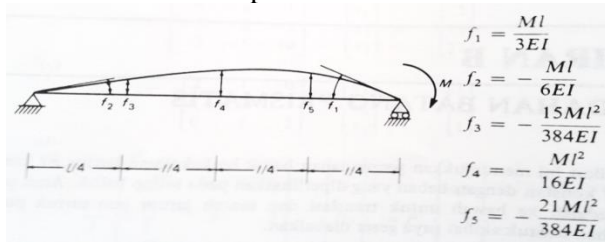
Tabel 2. Tekanan

No	Jenis Variasi pembebanan	Maksimum Strees (Pa)
1	Sesudah Modifikasi	$2,02 \times 10^5 \text{ Pa}$
2	Sebelum modifikasi	$2,805 \times 10^4 \text{ Pa}$
2	Kondisi Gaya tarik	421,77 KPa
2	Kondisi Shagging	$8,35 \times 10^1 \text{ Pa}$
3	Kondisi Hogging	$1,78 \times 10^2 \text{ Pa}$

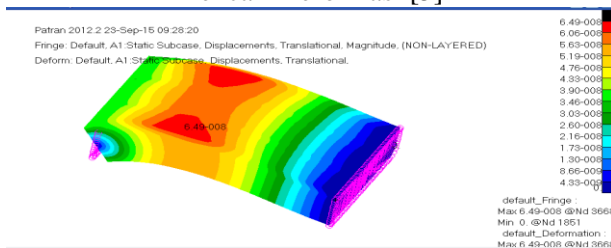


### 4.3 Validasi Model

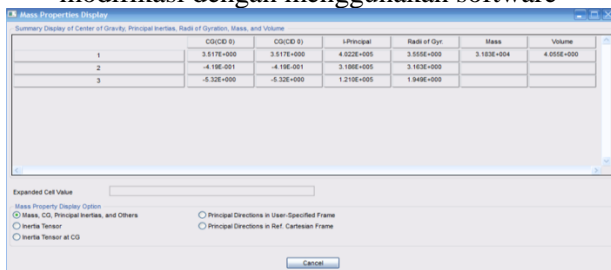
Untuk dapat dikatakan mendekati benar, maka persentase validasi harus di bawah 10% agar nilai tersebut dapat dikatakan valid.



Gambar 4. Rumus Mekanika Teknik Untuk Mencari Deformasi [5]



Gambar 5. Hasil Validasi model sesudah modifikasi dengan menggunakan software



Gambar 6. Mass Properties Display

$$f_4 = \left| -\frac{Ml^2}{16EI} \right|$$

$$f_4 = \left| -\frac{500 \times 10^8}{16 \times 210000 \times 402200} \right|$$

$$f_4 = 4,32 \times 10^{-8} \text{ m}$$

Tabel 3. Hasil Validasi

Sebelum Modifikasi	Software	4,23 x 10 <sup>-7</sup>	96,7%
Sesudah Modifikasi	Software	4,33 x 10 <sup>-8</sup>	
	Mektek	4,32 x 10 <sup>-8</sup>	99,7%

### 4.4 Analisa Kekuatan dan Kelelahan

Tahap ini dilakukan untuk menghitung nilai stress tertinggi pada material sekaligus untuk mengetahui letak hotspot stress pada saat variasi pembebanan dilakukan.

1. Proses Pendefinisian *Element Type*

*Element type* pada model dapat didefinisikan sesuai yang diinginkan dengan menentukan jenis *element* yang akan dipakai dan sesuai dengan model yang sebenarnya.

#### 2. Penentuan *Material Properties*

Untuk jenis material yang digunakan dalam model ini adalah baja standar. Dimana kriteria bahan baja tersebut adalah :

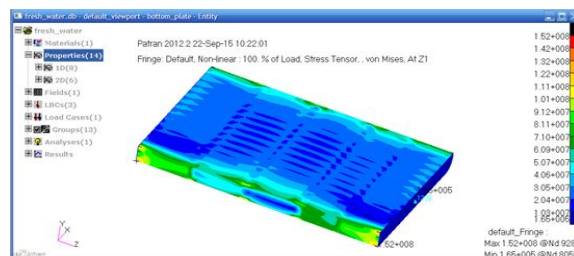
- o *Modulus Elasticity* = 2.06 E<sup>11</sup> N/m<sup>2</sup>
- o *Shear Modulus* = 0,8 x 10<sup>11</sup> N/m<sup>2</sup>
- o *Poisson's Ratio* = 0.30000001
- o *Density* = 7,85 ton/m<sup>3</sup>

#### 3. Penentuan Kondisi Batas

Kondisi batas digunakan untuk menentukan bentuk tumpuan dari objek yang dianalisa . Penentuan *Boundary Condition* dilakukan sesuai table berikut.

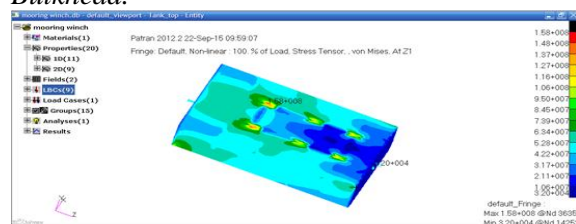
Tabel 4. Kondisi Batas

Lokasi	titik	Translasi		
		x	y	z
independen				
Aft		-	fix	fix
Fore		fix	fix	fix
		Rotasi		
independen		x	y	z
Aft		-	-	-
Fore		fix	-	-



Gambar 7. Hasil Analisa Tegangan Sebelum Modifikasi

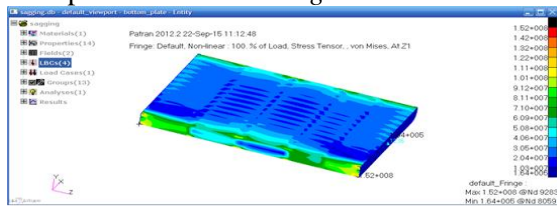
Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 1,52 x 10<sup>8</sup> Pa pada analisa non-linier dan terjadi pada Node @9283. Tegangan maksimal yang terjadi pada *Aft Bulkhead*.



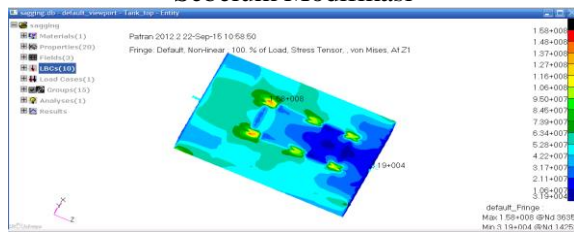
Gambar 8. Hasil Analisa Tegangan Sesudah Modifikasi

Pada kondisi beban *mooring winch* tegangan maximal yang terjadi sebesar 1,58 x 10<sup>8</sup> Pa pada

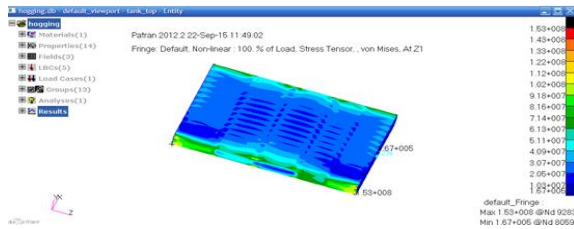
Node @3635. Tegangan maksimal yang terjadi di daerah pressure dari *mooring*.



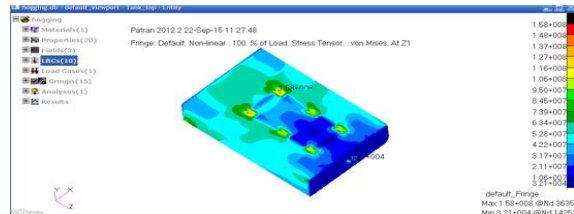
Gambar 9. Hasil Analisa Tegangan *Sagging* Sebelum Modifikasi



Gambar 10. Hasil Analisa Tegangan *Sagging* Sesudah Modifikasi



Gambar 11. Hasil Analisa Tegangan *Hogging* Sebelum Modifikasi



Gambar 12. Hasil Analisa Tegangan *Hogging* Sesudah Modifikasi

Semua variasi pembebanan dirunning untuk mengetahui tegangan maksimum pada setiap variasi pembebanan. Nilai strees kemudian dirunning menggunakan MSC Nastran untuk mendapatkan nilai siklus kelelahan material pada hotspot stress.

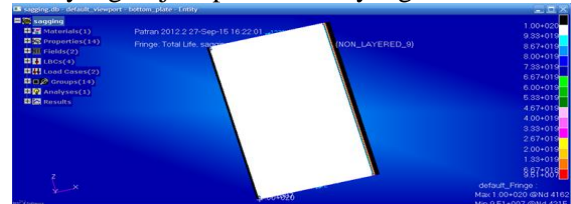
Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Tegangan Model Sebelum Modifikasi

No	Jenis Variasi pembebanan	Maksimum Strees (Pa)
1	Sebelum Modifikasi	$1,52 \times 10^8$
2	Kondisi Shagging	$1,52 \times 10^8$
3	Kondisi Hogging	$1,53 \times 10^8$

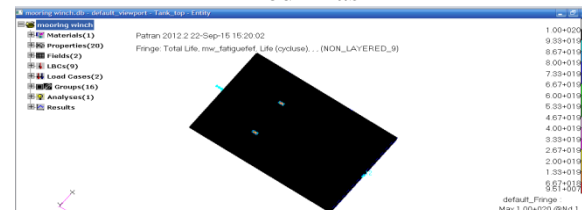
Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Tegangan Model Sesudah Modifikasi

No	Jenis Variasi pembebanan	Maksimum Strees (Pa)
1	Sesudah Modifikasi	$1,58 \times 10^8$
2	Kondisi Shagging	$1,58 \times 10^8$
3	Kondisi Hogging	$1,58 \times 10^8$

Tahap ini merupakan penyajian dari perhitungan software, berisi informasi jumlah siklus yang terjadi pada model yang dibuat.



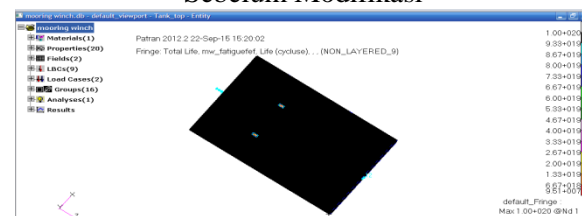
Gambar 13. Hasil Analisa *MSC Nastran* Sebelum Modifikasi



Gambar 14. Hasil Analisa *MSC Nastran* Sesudah Modifikasi



Gambar 15. Hasil Analisa *MSC Nastran* *Sagging* Sebelum Modifikasi

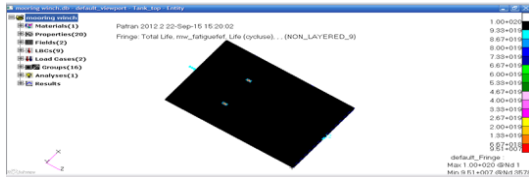


Gambar 16. Hasil Analisa *MSC Nastran* *Sagging* Sesudah Modifikasi



Gambar 17. Hasil Analisa *MSC Nastran* *Hogging* Sebelum Modifikasi





Gambar 18. Hasil Analisa MSC Nastran Hogging Sebelum Modifikasi

Semua variasi pembebanan dirunning untuk mengetahui siklus terpendek pada setiap variasi pembebanan.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Siklus Sebelum Modifikasi

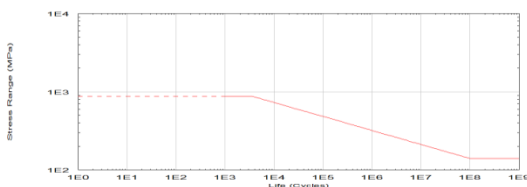
No	Jenis Variasi pembebanan	Siklus Terendah
1	Kondisi muatan F.water	0,951 x10 <sup>8</sup>
2	Kondisi Shagging	0,951 x10 <sup>8</sup>
3	Kondisi Hogging	0,709 x10 <sup>8</sup>

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Siklus Sesudah Modifikasi

No	Jenis Variasi pembebanan	Siklus Terendah
1	Kondisi muatan m.winch	0,951 x10 <sup>8</sup>
2	Kondisi Shagging	0,951 x10 <sup>8</sup>
3	Kondisi Hogging	0,951 x10 <sup>8</sup>

#### 4.5 Kurva S-N

Konsep tegangan-siklus (S-N) merupakan pendekatan pertama untuk memahami fenomena kelelahan logam. Konsep ini secara luas dipergunakan dalam aplikasi perancangan material dimana tegangan yang terjadi dalam daerah elastik dan umur leleh cukup panjang. (tegangan dalam daerah plastis dan umur leleh relatif pendek).



Gambar 19. Diagram S-N Hasil Analisa MSC Nastran

#### 4.6 Perhitungan Pembebanan Manual

Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Pembebanan Goodman

No	Jenis Variasi Pembebanan	Tegangan Amplitude (MPa)	Tegangan rata-rata (MPa)
1	Kondisi Full Load	0,789x10 <sup>2</sup>	0,79x10 <sup>2</sup>
2	Kondisi Sagging	0,7898 x10 <sup>2</sup>	079x10 <sup>2</sup>

3 Kondisi Hogging 0,7898 x10<sup>2</sup> 0,79x10<sup>2</sup>

#### 4.7 Perhitungan Factor Of Safety

Tabel 10. Rekapitulasi hasil Perhitungan Safety Faktor Goodman

N	Jenis variasi pembebanan	Tegangan Amplitude (MPa)	Tegangan rata-rata (MPa)	FS	Ket M/TM
1	Kondisi Full Load	0,789x10 <sup>2</sup>	0,79x10 <sup>2</sup>	1,72	M
2	Kondisi Sagging	0,7898x10 <sup>2</sup>	0,79x10 <sup>2</sup>	1,71	M
3	Kondisi Hogging	0,7898x10 <sup>2</sup>	0,79x10 <sup>2</sup>	1,71	M

#### 4.8 Perkiraan Umur kapal

Tahap ini merupakan output dari analisa menggunakan software yang nantinya didapatkan umur kapal dalam tahun. Perkiraan umur material ini menggunakan rumus dasar:

$$\text{Fatigue life} = \frac{\text{Design life}}{\text{DM}} \times \text{years}$$

Dimana:

Design life = 20 tahun, sesuai DNV

DM. = Cumulative fatigue damage

Nilai Dm sendiri didapat dengan dasar rumus sebagai berikut:

$$\text{DM} = \sum_{i=1}^{i=n_{\text{tot}}} \frac{n_L}{N_i}$$

Dimana:

n<sub>tot</sub> = total jumlah tegangan

N<sub>i</sub> = jumlah siklus dari software

T<sub>L</sub> = asumsi umur selama 20 tahun sebesar 6,3x10<sup>8</sup> detik

$$N_L = \frac{0,85 \times T_L}{4 \text{Log} L}$$

Sehingga di dapat nilai DM dari setiap variasi pembebanan sebagai berikut:

Tabel 11. Rekapitulasi Hasil DM

No	Jenis Variasi pembebanan	Maksimum Strees (Pa)	DM
1	Kondisi Full Load	1,58x10 <sup>8</sup>	0,72
2	Kondisi Sagging	1,58 x10 <sup>8</sup>	0,72
3	Kondisi Hogging	1,58 x10 <sup>8</sup>	0,72

Nilai DM yang didapat pada tiap-tiap variasi pembebanan kemudian dimasukkan kedalam rumus perhitungan umur kapal, sehingga didapatkan umur sebagai berikut:

Tabel 12. Perkiraan Umur Kapal

No	Jenis Variasi pembebanan	DM	Umur (tahun)
1	Kondisi <i>Full Load</i>	0,72	27,77
2	Kondisi Shagging	0,72	27,77
3	Kondisi Hogging	0,72	27,77

## 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa fatigue *double bottom* kapal *Accommodation Work Barge 5640 DWT* diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan terbesar yang terjadi pada konstruksi *double bottom* kapal *Accommodation Work Barge 5640 DWT* dengan variasi kondisi pembebanan adalah sebagai berikut :

Tabel 13. Perkiraan Umur Kapal

No	Jenis Variasi pembebanan	Node	Stress
1	Kondisi <i>Full Load</i>	3635	$1,58 \times 10^8$
2	Kondisi Shagging	3635	$1,58 \times 10^8$
3	Kondisi Hogging	3635	$1,58 \times 10^8$

2. Umur *double bottom* kapal *Accommodation Work Barge 5640 DWT* dengan variasi kondisi pembebanan adalah sebagai berikut:

Tabel 14. Perkiraan Umur Kapal

No	Jenis Variasi pembebanan	DM	Umur (tahun)
1	Kondisi <i>Full Load</i>	0,72	27,77
2	Kondisi Shagging	0,72	27,77
3	Kondisi Hogging	0,72	27,77

Berdasarkan analisa *fatigue* kapal *Accommodation Work Barge 5640 DWT* dengan tiga kondisi pembebanan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan terbesar yang terjadi pada konstruksi *double bottom* kapal *Accommodation Work Barge* dengan variasi kondisi pembebanan adalah:
  - a. Muatan penuh  $1,58 \times 10^8$  Pa
  - b. Shagging  $1,58 \times 10^8$  Pa
  - c. Hogging  $1,58 \times 10^8$  Pa
2. Umur *double bottom* kapal *Accommodation Work Barge 5640 DWT* dengan variasi kondisi pembebanan adalah:

- a. Muatan penuh 27,77 tahun
- b. Shagging 27,77 tahun
- c. Hogging 27,77 tahun

### 5.2 Saran

1. Penambahan jumlah finite elemen akan menambah ketelitian perhitungan pada software.
2. Penambahan jumlah kondisi sesuai pada lapangan akan menambah keakuratan dari analisa kelelahan pada suatu material
3. Penambahan history siklus kelelahan tiap jam akan lebih memudahkan peneliti dalam menganalisa jika dibanding dengan menggunakan rumus perhitungan perkiraan umur.
4. Ketelitian yang maksimal dalam analisa kelelahan kapal AWB 5640 DWT sebaiknya dilakukan sempel pengujian pada *hotspot stress* menggunakan alat uji.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] *American Bureau of Shipping.2014. Guide For Building And Classing Accomodation Barge.* New York.
- [2] Aulia, S, 2005. *Analisa Umur Kelelahan Turbular Joint Tipe T dengan Retak Eliptis pada Chord Menggunakan Metode Elastic Plastic Fracture Mechanics.* Tugas akhir: Jurusan Teknik Kelautan.
- [3] Bastian, Jajang. ST. 2011. *Analisa Fatigue Kekuatan Stern Ramp Door akibat Beban Dinamis pada KM. Kirana I dengan Metode Elemen Hingga Diskrit Elemen Segitiga Plane Stress,* Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro.
- [4] harmonised CSR original 1<sup>st</sup> January, 2014.
- [5] Ghali, A, Neville, A.M. 1985. *Analisa Struktur Edisi KeduaI,* Jakarta: Penerbit Erlangga
- [6] Goodman J, *Mechanics Applied to Engineering.* London: Longmans; 1899.
- [7] Popov, E. P., 1978, *Mechanics of Material,* 2<sup>nd</sup> edition, Prentice-Hall, Inc.
- [8] Trimulya S, Moh.Resi. 2015. *Analisa Fatigue Konstruksi Car Deck Kapal Motor Zaisan Star 411 DWT Dengan Metode Elemen Hingga.* Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro.

- [9] Siswanto Sukaryadi. 2009. Kompetensi Fisika kelas 11.