

# ANALISA *FATIGUE* KAPAL *BULK CARRIER 77627 DWT* MENGUNAKAN PROSEDUR *COMMON STRUCTURAL RULES FOR* *BULK CARRIER (CSR)*

Taufiq Hidayah<sup>1</sup>, Ahmad Fauzan Zakki<sup>1</sup>, Andi Trimulyono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : [taufiqhidayah1393@gmail.com](mailto:taufiqhidayah1393@gmail.com)

## Abstrak

Kapal *bulk carrier* adalah salah satu alat transportasi laut yang digunakan untuk mengangkut muatan curah dengan jumlah besar. Banyak faktor teknis yang dapat mempengaruhi kinerja kapal dalam berlayar salah satunya adalah *fatigue*. Penelitian tentang kelelahan kapal perlu diperhatikan, sehingga kapal aman saat berlayar. Analisa dan permodelan dalam penelitian kelelahan kapal *bulk carrier* dilakukan menggunakan acuan *rules Common Structural Rules* Biro Klasifikasi Indonesia (CSR BKI). Analisa yang digunakan adalah analisa beban dinamis untuk mengetahui *fatigue life* dan letak *hotspot* kegagalan terbesar pada konstruksi kapal berdasarkan variasi pembebanan pada CSR. Hasil analisa diambil nilai *stress* terbesar dan diambil nilai siklus terendah pada setiap variasi pembebanan yang dilakukan. Kondisi *full loads* didapatkan nilai *strees* sebesar 144 Mpa, siklus sebanyak  $0,733 \times 10^8$ . Kondisi *heavy ballast* didapat nilai *stress* sebesar 123 Mpa, siklus sebesar  $0,779 \times 10^8$ . Kondisi normal ballast didapat nilai *strees* sebesar 114 Mpa, siklus sebesar  $0,867 \times 10^8$ . Setelah didapat semua nilai siklus dan *stress*, dapat diketahui perkiraan umur kapal pada setiap kondisi variasi pembebanan sesuai aturan CSR

Kata kunci : CSR, *fatigue*, siklus

## Abstract

*Bulk carriership is a type of transportation model that is used to transport bulk cargo by a large amount. Many technical factors can change performance when ship sailing, one of all is fatigue. Research on fatigue ships need to be considered, so safely when ship sailed. Analysis and modelling in fatigue research bulk carrier conducted using the Common Structural Rules Biro Klasifikasi Indonesia (CSR BKI). This analysis used dynamic loads for get fatigue life and location of the greatest failures in ship construction of loading variations on CSR. The results of analysis is taken the greatest stress value and the lowest cycles value of loading variations. Full loads condition obtained stress value 144 Mpa and  $0.733 \times 10^8$  cycle. Heavy ballst condition obtained stress value 123 Mpa and  $0,779 \times 10^8$  cycle. Normal ballast condition obtained stress value 114 Mpa and  $0,867 \times 10^8$  cycle. After obtained all of cylce and stress value, it's known the expected life of ship on loading variations within rules of CSR*

Keywords: CSR, *fatigue*, cycles

## 1. PENDAHULUAN

Kapal *bulk carrier* adalah salah satu alat transportasi laut yang digunakan untuk mengangkut muatan curah dengan jumlah besar. Banyak faktor teknis yang dapat mempengaruhi kinerja kapal dalam berlayar salah satunya adalah *fatigue*. Pembuatan kapal harus menggunakan pemilihan bahan material yang tepat agar kinerja kapal bagus dan aman dalam berlayar, pemilihan bahan material ini mempunyai banyak pengaruh teknis dalam suatu kapal.

Salah satu pengaruh teknisnya adalah segi kekuatan material tersebut ketika diberi tekanan dari beban muatan maupun dari tekanan dari luar (tekanan arus), jika material tersebut diberikan beban secara terus menerus. Material tersebut akan sampai pada titik lelehnya (retak dan patah)

sehingga dapat mengganggu kinerja kapal dalam berlayar. Pada semua konstruksi teknik, bagian-bagian pelengkap suatu bangunan konstruksi harus diberi ukuran-ukuran fisik, hal ini harus diukur dengan tepat untuk menahangaya-gaya yang sesungguhnya. Untuk menahan gaya-gaya tersebut suatu bahan harus mempunyai ukuran yang cukup memadai, sehingga bagian-bagian dari suatu material bahan harus cukup tegar sehingga tidak akan melentur atau melengkung melebihi batas yang diizinkan apabila bekerja dibawah beban yang diberikan

Dengan memperhatikan pada latar belakang maka diambil beberapa rumusan masalah pada Tugas Akhir ini sebagai berikut

1. Berapa nilai tegangan pada titik paling rawan terjadi kelelahan?

2. Berapa *fatigue life* pada daerah *hot spot stress*?

Batasan masalah yang digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir ini agar sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang di harapkan. Batasan permasalahan yang di bahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Analisa dilakukan pada material yang belum terdapat *crack* atau cacat lainnya sampai material tersebut terdapat *initial crack*
2. Analisa dilakukan dengan mengikuti prosedur CSR (*Common Structural Rules for Bulk Carriers*)

Sesuai dengan latar belakang dan permasalahan yang telah dibahas maka penelitian ini mempunyai beberapa tujuan. Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Berapa nilai tegangan tertinggi pada titik paling rawan terjadi kelelahan (*hot spot stress*) ?
2. Berapa *fatigue life* pada daerah *hot spot stress*?

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kapal Bulk Carrier

Kapal muatan curah (*Bulk Carrier*) adalah kapal yang mengangkut muatan tanpa pembungkus tertentu berupa biji-bijian yang dicurahkan secara langsung kedalam palkah kapal. Ditinjau dari jenis muatannya ada beberapa macam yaitu sebagai berikut:

- a. kapal pengangkut biji tambang yaitu kapal yang mengangkut muatan curah berupa biji-bijian hasil tambang, misalnya biji besi, chrom, mangaan, bauxit dan sebagainya
- b. kapal penganakut biji tumbuh-tumbuhan yaitu kapal yang mengangkut muatan curah berupa biji-bijian hasil tumbuh-tumbuhan, misal jagung, beras, kedelai, dan sebagainya
- c. kapal pengangkut batu bara atau sering disebut *collier*, yaitu kapal yang mengangkut muatan curah berupa batu bara, cokes atau co[3].

### 2.2 Tekanan

Tekanan yang dapat mempengaruhi usia *fatigue* kapal dibedakan menjadi dua jenis, yaitu: tekanan dari dalam (*internal pressure*) dan tekanan dari luar (*external pressure*). Tekanan dari luar dibedakan lagi menjadi dua jenis yaitu: tekanan hidrostatis dan tekanan hidrodinamik (*wave pressure*)

- a. Tekanan hidrostatis air laut dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$P = \rho g (T_{LCi} - z) \quad (1)$$

- b. Tekanan hidrodinamik (*wave pressure*) untuk H1, H2, F1, F2 dapat dihitung melalui persamaan berikut:

Tabel 1 hidrodinamik pressre H1,H2, F1, F2

Load case	Tekanan hidrodinamik (KN/m <sup>2</sup> )
H1	$P_{HF1} = -k_l k_p P_{HF}$
H2	$P_{HF2} = k_l k_p P_{HF}$
F1	$P_{F1} = P_{HF}$
F2	$P_{F2} = -P_{HF}$

Dimana:

$$P_{HF} = 3 f_p f_{nl} C \sqrt{\frac{L+\lambda-125}{L}} \left( \frac{z}{T_{LCi}} + \frac{|2y|}{B_i} + 1 \right) \quad (2)$$

Dengan  $\frac{|2y|}{B_i} \leq 1, 0$  dan  $z$  tidak lebih besar dari  $T_{LCi}$

$z$  = koordinat titik *vertical*

$\rho$  = massa jenis

$g$  = gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$y$  = koordinat titik melintang

$c$  = wave parameter

$$c = 10,75 - \left( \frac{300-L}{100} \right)^{1,5} \quad \text{untuk } 90 \leq L < 300$$

m

$T_{LCi}$  = sarat kapal

$f_{nl}$  = koefisien *nonlinier effect*

$f_{nl} = 0,9$  untuk *probability*  $10^{-8}$

$f_{nl} = 1$  untuk *probability*  $10^{-4}$

$k_l$  = koefisien amplitude memanjang

$f_p = 1$  untuk *probability*  $10^{-8}$

$f_p = 0,5$  untuk *probability*  $10^{-4}$

$$k_l = 1 + \frac{12}{CB} \left( 1 - \sqrt{\frac{|2y|}{B}} \right) \left| \frac{x}{L} - 0,5 \right|^3$$

untuk  $0,0 \leq x/L \leq 0,5$  (3)

$$k_l = 1 + \frac{6}{CB} \left( 3 - \frac{|4y|}{B} \right) \left| \frac{x}{L} - 0,5 \right|^3$$

untuk  $0,5 \leq x/L \leq 1$  (4)

$k_p$  = koefisien phase memanjang

$$k_p = \left( 1,25 \frac{T_{LC}}{T_S} \right) \cos \left( \frac{2\pi |x-0,5L|}{L} \right) - \frac{T_{LC}}{T_S} +$$

0,25 (5)

$k_p = -1$  untuk kondisi *full loads*

$\lambda$  = panjang gelombang

$$\lambda = 0,6 \left( 1 + \frac{T_{LC}}{T_S} \right) L \quad \text{untuk H1 dan H2 (6)}$$

$$\lambda = 0,6 \left( 1 + \frac{2 T_{LC}}{3 T_S} \right) L \quad \text{untuk F1 dan F2 (7)}$$

- c. Hidrodinamik *pressure* untuk R1 dan R2 dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P_{R1} = f_{nl} \left( 10y \sin \theta + 0,88 f_p C \sqrt{\frac{L+\lambda-125}{L}} \left( \frac{|2y|}{B} + 1 \right) \right)$$

$$P_{R2} = -P_{R1} \quad (8)$$

Dimana:

$f_{nl} = 0,8$  untuk *probability*  $10^{-8}$

$f_{nl} = 1$  untuk *probability*  $10^{-4}$

$$\lambda = \frac{g}{2\pi} T_R^2$$

y = koordinat titik melintang

- d. Hidrodinamik *pressure* untuk P1 dan P2 dihitung menggunakan persamaan dalam tabel berikut:

Tabel 2 Hidrodinamik *pressure* P1 dan P2

Load case	Tekanan Hidrodinamik (KN/m <sup>2</sup> )	
	Weather Side	Lee Side
P1	$P_{P1} = P_p$	$P_{P1} = P_p/3$
P2	$P_{P2} = -P_p$	$P_{P2} = -P_p/3$

Dimana:

$$P_p = 4,5 f_p f_{nl} C \sqrt{\frac{L+\lambda-125}{L}} \left( 2 \frac{|z|}{T_{LCI}} + 3 \frac{|2y|}{B_i} \right) (9)$$

$f_{nl} = 0,65$  untuk *probability*  $10^{-8}$

$f_{nl} = 1$  untuk *probability*  $10^{-4}$

$$\lambda = \left( 0,2 + 0,4 \frac{T_{LC}}{T_S} \right) L \quad (10)$$

y = koordinat titik muatan

- e. Tekanan muatan dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$P_{CS} = \rho c g K_C (h_c + h_{DB} - z) \quad (11)$$

- f. tekanan inersia untuk muatan kering dihitung menggunakan persamaan berikut:

untuk *head sea*

$$P_{cw} = \rho c [0,25 a_x (x - X_g) + K_C a_z (h_c + h_{DB} - z)] \quad (12)$$

untuk *following sea*

$$P_{cw} = 0 \quad (13)$$

untuk *Beam sea*

$$P_{cw} = \rho c [0,25 a_x (x - X_g) + K_C a_z (h_c + h_{DB} - z)] \quad (14)$$

- g. Beban geser muatan curah kering bisa dihitung menggunakan persamaan berikut:

Untuk *head sea* dan *beam sea*

$$P_{cw-s} = \rho c g \frac{(1-K_C)(h_c+h_{DB}-z)}{\tan \alpha} \quad (15)$$

Untuk *following sea*

$$P_{cw-s} = 0 \quad (16)$$

Dimana:

$\rho c$  = massa jenis muatan

g = gravitasi

$$K_C = \cos^2 \alpha (1 - \sin \varphi) \sin^2 \alpha$$

$K_C = 0$  untuk bagian atas dek

$\alpha$  = sudut muatan

$\varphi$  = asumsi sudut (kapal kembali tegak)

$\varphi = 30^0$  untuk muatan umum

$\varphi = 35^0$  untuk muatan besi

$\varphi = 25^0$  untuk muatan semen

$h_c$  = jarak vertikal

$h_{DB}$  = tinggi *double bottom*

z = koordinat titik vertikal

ax = *percepatan gravitasi memanjang*

ay = *percepatan gravitasi melintang*

az = *percepatan gravitasi vertikal*

### 2.3 Variasi Pembebanan untuk Analisa Fatigue

Jeniskapal *bulk carrier* dalam CSR di kelompokkan menjadi dua jeniskapal, yaitu: kapal *bulk carrier* jenis A dan kapal *bulk carrier* jenis B

Kategori *bulk carrier* jenis A yaitu:

- Kapal yang di rencanakan untuk mengangkut muatan curah cair.
- Mempunyai *integritas* tinggi dengan akses yang kecil untuk membuka muatan,
- Ruang muatnya mempunyai nilai permeabilitas yang rendah.

Kategori *bulk carrier* jenis B yaitu kapal yang tidak memenuhi kategori A

Pembebanan tiap jenis *bulk carrier* berbeda-beda, hal ini diatur didalam CSR chapter 4 appendix 3[1].

No.	Description	Draft <sup>#</sup>	Loading pattern	Aft	Mid	Fore	Load case (Design wave)			Still water vertical bending moment <sup>#</sup>	Remarks (see below)
							H1	F1	P1		
1	Full Load	T					H1	F1	P1	$M_{21}$	1)
							H2	F2	P2		
2	Alternate Load	T					H1	F1	P1	$M_{21}$	2)
							H2	F2	P2		
3	Normal Ballast	T <sub>0</sub>					H1	F1	P1	$M_{20}$	
							H2	F2	P2		
4	Heavy Ballast	T <sub>0</sub>					H1	F1	P1	$M_{20}$	3)
							H2	F2	P2		
							H1	F1	P1	$M_{21}$	4)
							H2	F2	P2		

Gambar 1 variasi pembebanan *bulk carrier* A

No.	Description	Draught <sup>1)</sup>	Loading pattern	Aft	Mid	Fore	Load case (Design wave)				Still water vertical bending moment <sup>2)</sup>	Remarks (see below)
							H1	F1	R1	P1		
1	Full Load	7					H1	F1	R1	P1	M <sub>(31)</sub>	1)
							H2	F2	R2	P2		
2	Normal Ballast	7 <sub>ie</sub>					H1	F1	R1	P1	M <sub>(32)</sub>	
							H2	F2	R2	P2		
3	Heavy Ballast	7 <sub>ie</sub>					H1	F1	R1	P1	M <sub>(34)</sub>	2)
							H2	F2	R2	P2		
							H1	F1	R1	P1	M <sub>(34)</sub>	3)
							H2	F2	R2	P2		

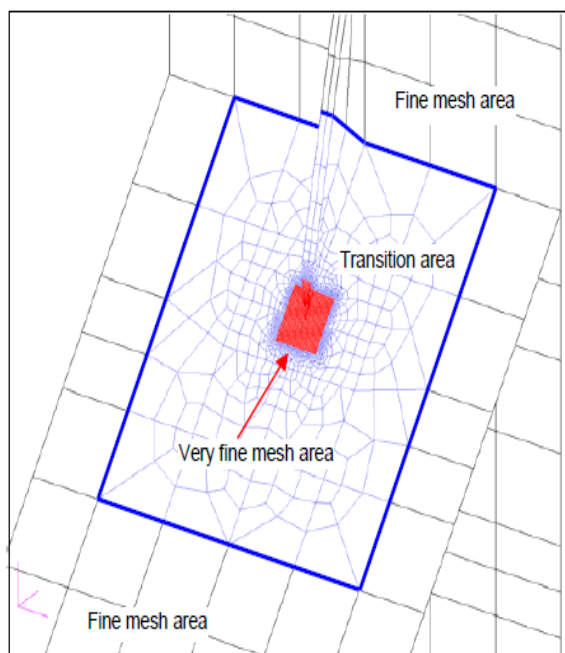
Gambar 2 variasi pembebanan *bulk carrier* B

## 2.4 Hotspot stress

*Hotspot stress* adalah lokasi dimana tegangan tertinggi berada dan *fatigue crack* dimulai (siklus terpendek).

Letak tegangan tertinggi dalam analisa fatigue menentukan lokasi rawan terjadinya patah material, sedangkan nilai tegangan tertinggi mempengaruhi usia material yang dianalisa. Ketelitian nilai tegangan dipengaruhi oleh jumlah finite elemen yang digunakan, semakin banyak jumlah meshing maka nilainya lebih teliti.

*Very fine meshes* adalah cara untuk menambah ketelitian nilai tegangan yang terjadi dengan cara menambah jumlah meshing pada titik rawan fatigue<sup>[1]</sup>.



Gambar 3 *very fine mesh*

## 2.5 Diagram 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. Metode S-N tidak dapat dipakai dalam kondisi sebaliknya (tegangan dalam daerah plastis dan umur leleh relatif pendek)[4].

## 2.6 Perkiraan Fatigue

Perhitungan *Fatigue* dari struktur yang ada pada kapal *bulk carrier* 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 jelek[2].

Nilai DM didapat melalui persamaan milner sebagai berikut:

$$DM = \frac{N_L}{N_i} \quad (17)$$

Dimana:

$N_L$  = total sumbu jumlah siklus yang direncanakan untuk 25 th

$N_i$  = jumlah siklus hasil analisa

Nilai  $N_L$  didapatkan dari persamaan sebagai berikut:

$$N_L = \frac{0,85 T_L}{4 \log L} \quad (18)$$

Dimana:

$T_L$  = Estimasi perencanaan umur kapal selama 25 tahun sama dengan  $7,884 \times 10^8$  detik

$L$  = LPP kapal

Umur kapal untuk 25 tahun menurut CSR berkisar antara  $0,6 \times 10^8 - 0,8 \times 10^8$  siklus

Umur kapal dapat ditentukan dengan persamaan:

$$Fatigue\ life = \frac{Design\ Life}{DM} \times years \quad (19)$$

Dimana:

*Design life* = 25 tahun, sesuai aturan CSR *Bulk carrier*

DM. = *Cumulative fatigue damage*

Perkiraan umur fatigue juga bisa dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$D_j = \frac{\alpha_j N_L \Delta \sigma_{Ej}^4}{K_{(lnNR)^{4/\epsilon}} \left[ \Gamma \left( \frac{4}{\epsilon} + 1, v \right) + v^{-3/\epsilon} \gamma \left( \frac{7}{\epsilon} + 1, v \right) \right]} \quad (20)$$

Dimana:

$K$  = parameter kurva S-N,  $1,1014 \times 10^{15}$

$N_L$  = asumsi jumlah siklus yang direncanakan untuk 25 tahun

$\alpha_j$  = koefisien

Tabel 3 koefisien  $\alpha_j$

	Loading Conditions	BC-A	BC-B
<b>L &lt; 200 m</b>	Homogeneous	0,6	0,7
	Alternate	0,1	
	Normal Ballast	0,15	0,15
	Heavy Ballast	0,15	0,15
<b>L &gt; 200 m</b>	Homogeneous	0,25	0,5
	Alternate	0,25	
	Normal Ballast	0,2	0,2
	Heavy Ballast	0,3	0,3

$$v = \left( \frac{100,3}{\Delta\sigma_{E,j}} \right)^\varepsilon \ln NR$$

$\Gamma$  = upper gamma fuction  
 $\gamma$  = lower gamma fuction  
 $N_R = 10^4$   
 $\varepsilon = 1$   
 $\Delta\sigma_{E,j}$  = tegangan (N/mm<sup>2</sup>)

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Identifikasi Permasalahan

Mencakup tentang: Perumusan masalah dan penetapan tujuan, Batas dan asumsi yang berlaku, Ruang lingkup masalah, *tools* yang digunakan

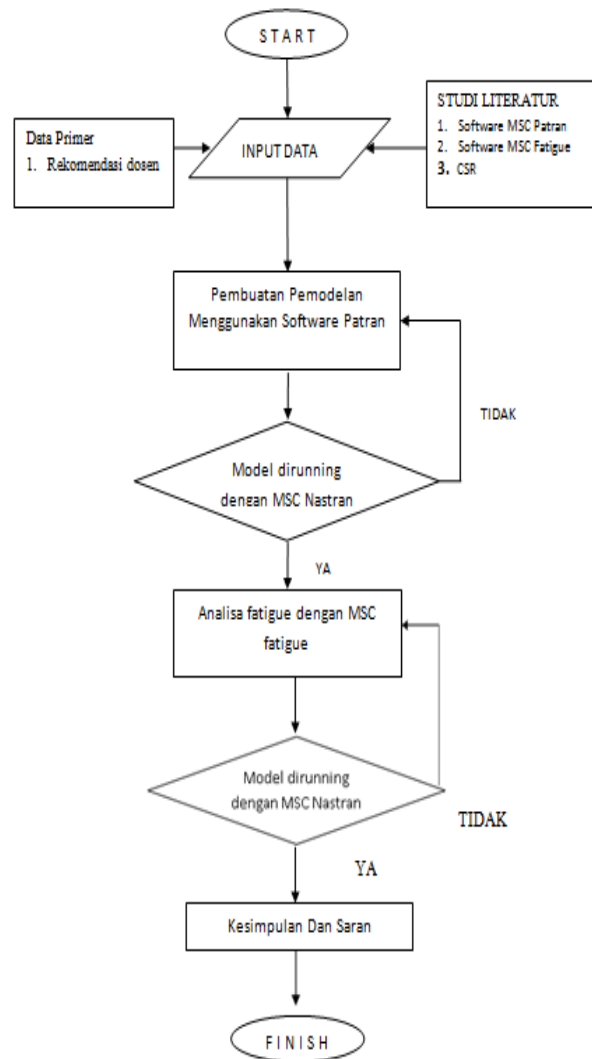
#### 3.2 Penelitian

Mencakup materi penelitian yang didalamnya terdapat data-data primer yang digunakan. Data primer yang dimaksud adalah:

- Ukuran utama kapal dan jenis kapal:
  - Type = Bulk carrier
  - GT = 43376 ton
  - LPP = 200m
  - Length Over All = 229 m
  - Bread Moulded = 36 m
  - Draught = 12,82 m
  - DWT = 77672 ton
  - CB = 0,75
- Tebal material yang di analisa

#### 3.3 Flow Chart Metodologi Penelitian

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



Gambar 4 Diagram alir penelitian

### 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pendefinisian Fatigue

Kelelahan (*Fatigue*) adalah salah satu jenis kegagalan (patah) pada komponen akibat beban dinamis (pembebanan yang berulang-ulang atau berubah-ubah). Diperkirakan 50%-90% kegagalan mekanis adalah disebabkan oleh kelelahan.



Gambar 5 Kapal patah akibat *fatigue*

Modus kegagalan komponen atau struktur dapat dibedakan menjadi 2 katagori utama yaitu:

- 1 Modus kegagalan *quasi statik* (modus kegagalan yang tidak tergantung pada waktu,).
- 2 Modus kegagalan yang tergantung pada waktu (ketahanan terhadap kegagalannya dinyatakan dengan umur).

#### 4.2 Perhitungan Tekanan

tekanan *external* (gelombang air laut, tekanan hidrostatik air laut) dan tekanan *internal* (muatan, ballast) pada tiap tiap variasi pembebanan sesuai CSR.

Tabel4 tekanan hidrodinamik H1,H2,F1,F2 Load case Tekanan hidrodinamik (KN/m<sup>2</sup>)

H1	$P_{HF1} = -k_l k_p P_{HF}$
H2	$P_{HF2} = k_l k_p P_{HF}$
F1	$P_{F1} = P_{HF}$
F2	$P_{F2} = -P_{HF}$

Tabel 5 Hidrodinamik pressure P1 dan P2

Load case	Tekanan Hidrodinamik (KN/m <sup>2</sup> )	
	Weather Side	Lee Side
P1	$P_{P1} = P_p$	$P_{P1} = P_p/3$
P2	$P_{P2} = -P_p$	$P_{P2} = -P_p/3$

Perhitungan disesuaikan dengan variasi pembebanan CSR di dapatkan nilai, sebagai berikut :

Tabel6 Tekanan hidrostatik air laut

No	Jenis variasi pembebanan	Tekanan hidrostatik (KN/m <sup>2</sup> )
1	muatan penuh	130
2	heavy ballast	80
3	normal ballast	30

Tabel7 Tekanan muatan

No	Jenis variasi pembebanan	Tekanan	Tekanan
		wing tank(KN/m <sup>2</sup> )	upper wing tank(KN/m <sup>2</sup> )
1	muatan penuh	0	0
2	heavy ballast	55,3	55,3
3	normal	55,3	55,3

ballast

Tabel8 Tekanan hidrodinamik

Desig n Wave	Muatan penuh(KN/m <sup>2</sup> )	Hevy ballast(KN/m <sup>2</sup> )	Normal ballast(KN/m <sup>2</sup> )
H1	156	204	137
H2	-156	-204	-137
F1	-112	-134	-113
F2	112	134	113
R1	48	84,9	84,9
R2	-48	-84,9	-84,9
P1	157	194	146
P2	-157	-194	-146

Tabel9 Tekanan inersia

Desig n Wave	Muatan penuh(KN/m <sup>2</sup> )	Hevy ballast(KN/m <sup>2</sup> )	Normal ballast(KN/m <sup>2</sup> )
H	156	204	137 <sup>1</sup>
F	0	0	0
R	48	84,9	84,9
P	157	194	146

Tabel 10Bebangeser

Pembebanan	Head sea	Beam sea	Following sea
Muatan penuh	137,44 KN/m <sup>2</sup>	137,44 KN/m <sup>2</sup>	0 KN/m <sup>2</sup>

#### 4.3 Variasi Pembebanan

Tahap ini dilakukan untuk memberibeban pada model sesuai variasi pembebanan pada CSR dengan memasukkan laitegangan yang sudah dihitung sebelumnya

No.	Description	Draught <sup>(1)</sup>	Loading pattern	Aft	Mid	Fore	Load case (Design wave)	Still water vertical bending moment <sup>(1)</sup>	Remarks (see below)
1	Full Load	7					H1 F1 R1 P1 H2 F2 R2 P2	M <sub>(1)</sub>	1)
2	Normal Ballast	T <sub>18</sub>					H1 F1 R1 P1 H2 F2 R2 P2	M <sub>(2)</sub>	
3	Heavy Ballast	T <sub>18</sub>					H1 F1 R1 P1 H2 F2 R2 P2	M <sub>(3)</sub>	2)
							H1 F1 R1 P1 H2 F2 R2 P2	M <sub>(4)</sub>	3)

Gambar 7 Variasi pembebanan model

Variasi pembebanan diambil 3 variasi Pembebanan sesuai dengan jenis kapal *bulk carrier* jenis B

#### 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.

MSC Patran digunakan penulis untuk membantu perhitungan nilai tegangan agar lebih mudah, langkahnya adalah sebagai berikut:

##### 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 Model* Dan *Material Properties* dapat didefinisikan sesuai yang diinginkan dengan menentukan *modulus elastisitas* dan *poissons ratio* dari model yang diinginkan. Untuk jenis material yang digunakan dalam model ini adalah baja standar. Dimana kriteria bahan baja tersebut adalah :

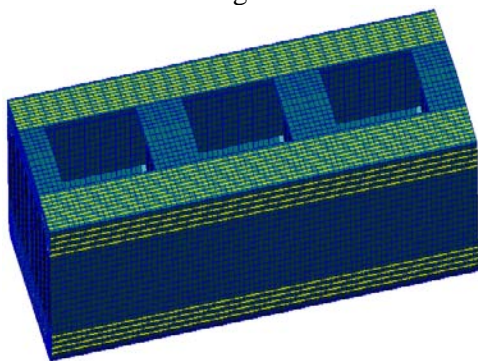
*Modulus Elasticity* =  $2.06 \times 10^5$  Mpa

Shear Modulus = 79230.76

*Poisson's Ratio* = 0.30000001

Density =  $7.8499998 \times 10^{-9}$

##### 3. Proses *Meshing* Proses *meshing* adalah proses dimana model dibuat menjadi kumpulan nodal elemen hingga dengan ukuran yang lebih kecil dan saling terhubung. Karena konstruksi kapal bulk carriers sangat kompleks. *Meshing* ditentukan dengan *SIZE Element edge length* 0,02, dengan parameter semakin kecil *SIZE* maka *meshing* akan semakin detail, semakin besar *SIZE* maka *meshing* akan semakin kurang detail.



Gambar 8 Hasil *meshing*

#### 4. Penentuan Kondisi Batas *Boundary Condition* dilakukan sesuai tabel berikut:

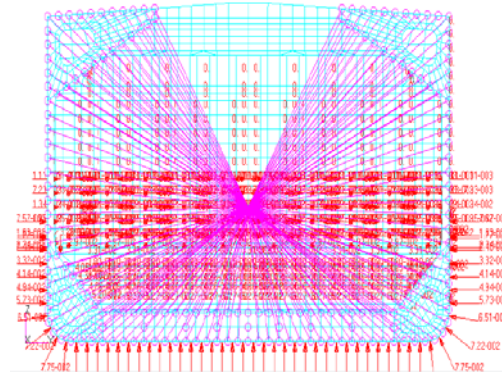
Tabel 11 Kondisi batas

lokasi titik independen	translasi		
	sumbu x	sumbu y	sumbu z
titik independen pada ujung belakang	-	fix	fix
titik independen pada ujung depan	fix	fix	fix

lokasi titik independen	rotasi		
	sumbu x	sumbu y	sumbu z
titik independen pada ujung belakang	-	-	-
titik independen pada ujung depan	fix	-	-

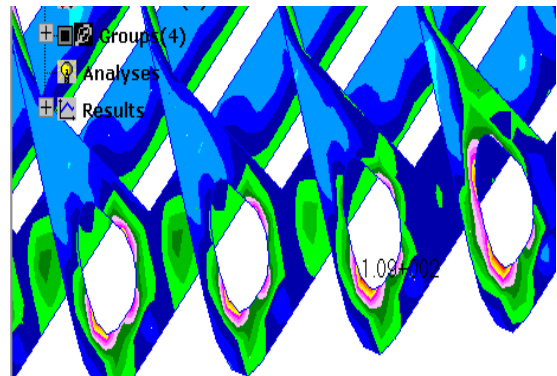
##### 3. Penentuan pressure yang diberikan didasarkan pada perencanaan asumsi pembebanan sesuai pedoman buku CSR *Bulk Carrier*



Gambar 9 Kondisi batas dan *pressure*

#### 4. *General*

*Postprocessing*, Dalam tahap *postprocessing* kita dapat mengetahui hasil dari running perhitungan *software* sesuai dengan masing-masing kejadian Variasi di buku CSR *Bulk Carrier*. Nantinya didapatkan hasil *stress* tertinggi dan lokasi *hotspot stress*



Gambar 10 Letak *hotspot stress*

5. Proses *very fine mesh* adalah proses yang digunakan untuk menambah ketelitian hasil analisa. Tahap ini dilakukan pada daerah rawan saja (*Hotspot stress*)

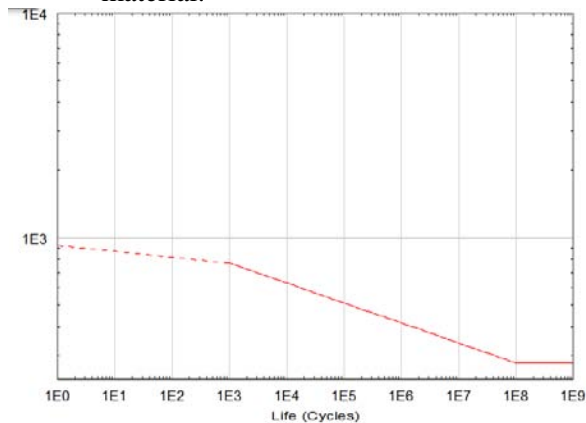


Gambar 11 *Very fine mesh*

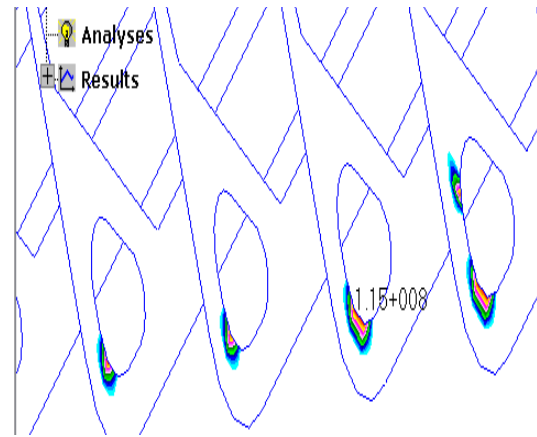
Tabel 12 Rekapitulasi hasil tegangan

No	Jenis Variasi pembebanan	Maksimum $S_{trees}$ (Mpa)
1	Muatan penuh	$1,44 \times 10^2$
2	Muatan heavy ballast	$1,23 \times 10^2$
3	Muatan normal ballast	$1,14 \times 10^2$

6. *Fatigue analysis*, proses ini akan mengubah nilai *strees* tertinggi menjadi jumlah siklus kelelahan material terpendek menggunakan konsep diagram S-N yang ada pada *MSC Fatigue*. Pemilihan metode pembuatan diagram S-N dapat mengubah nilai siklus terpendek material.



Gambar 12 Kurva S-N



Gambar 13 Jumlah siklus terpendek

Tabel 13 Rekapitulasi hasil siklus terpendek

No	Jenis Variasi pembebanan	Siklus terendah
1	Muatan penuh	$0,733 \times 10^8$
2	Muatan heavy ballast	$0,79 \times 10^8$
3	Muatan normal ballast	$0,87 \times 10^8$

#### 4.4 Validasi

Tujuan dari validasi adalah untuk menunjukkan keakuratan dalam perencanaan dan perhitungan dari suatu permodelan

Validasi dilakukan setelah pemodelan selesai.

1. Validasi Sebelum Tahap Analisa (*Preprocessor Check*) Validasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah model yang sudah dibuat ada masalah atau tidak.
2. Validasi Sesudah Tahap Analisa (*Postprocessor Check*) Validasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah ada kesalahan atau *error* setelah model dianalisa.

#### 4.5 Perkiraan Umur kapal

Tahap ini merupakan *out put* dari analisa menggunakan *software* yang nantinya didapatkan umur kapal dalam tahun

Tabel 14 Rekapitulasi hasil DM

No	Jenis Variasi pembebanan	DM
1	Muatan penuh	0,993
2	Muatan heavy ballast	0,934
3	Muatan normal ballast	0,840

Nilai DM yang didapat pada tiap-tiap variasi pembebanan kemudian dimasukkan kedalam



rumus perhitungan umur kapal, sehingga didapatkan umur sebagai berikut:

Tabel 15 Perkiraan Umur kapal

No	Jenis Variasi pembebanan	DM	Umur (tahun)
1	Muatan penuh	0,993	25,18
2	Muatan <i>heavy ballast</i>	0,934	26,77
3	Muatan normal <i>ballast</i>	0,867	28,83

## 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis *fatigue* kapal *bulk carrier 77627* dwt dengan prosedur CSR diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan terbesar yang terjadi pada konstruksi kapal *bulk carrier 77627* DWT dengan variasi kondisi pembebanan adalah:
  - a. Muatan penuh  $1,44 \times 10^2$
  - b. Heavy ballast  $1,23 \times 10^2$
  - c. Normal Ballast  $1,14 \times 10^2$
2. Umur kapal *bulk carrier 77627* DWT dengan variasi kondisi pembebanan adalah:
  - a. Muatan penuh 25,18 tahun
  - b. Heavy ballast 26,77 tahun
  - c. Normal Ballast 28,83 tahun

### 5.2 Saran

Berdasarkan analisis *fatigue* kapal *bulk carrier 77627* dwt dengan prosedur CSR agar penelitian lebih baik lagi maka disarankan:

1. ketelitian yang maksimal dalam analisa kelelahan kapal *bulk carrier 77627* DWT sebaiknya dilakukan sampel pengujian pada *hotspot stress* menggunakan alat uji
2. Penambahan jumlah finite elemen akan menambah ketelitian perhitungan pada *software*
3. Penambahan *history* siklus kelelahan tiap jam akan lebih memudahkan peneliti dalam menganalisa jika dibanding dengan menggunakan rumus perhitungan perkiraan umur

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero. 2013. "*Common Structural Rules for Bulk Carrier*". Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- [2] Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero. 2013. "*Common Structural Rules for Oil Tanker*". Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- [3] Djaya, I. K. 2008. *Teknik Konstruksi Kapal Baja 1*. Jakarta : Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- [4] Sebastian, Jajang. 2011. *Analisa Fatigue Kekuatan Setrn Ramp Door Akibat Beban Dinamis Pada KM. Kirana I Dengan Metode Elemen Hingga Diskrit Elemen Segitiga Plane*