

ANALISA FATIGUE CRUDE OIL TANKER 306507 DWT BERDASARKAN COMMON STRUCTURAL RULES (CSR) OIL TANKER

Daris Dwi Nur Choirudin¹, Ahmad Fauzan Zakki¹, Good Rindo¹

¹Jurusan S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : darisdnc@gmail.com

Abstrak

Kapal menjadi alat transportasi yang digunakan untuk mengangkut barang dan penumpang dengan jumlah besar. Banyak faktor teknis yang dapat mempengaruhi kinerja kapal dalam berlayar, salah satunya adalah *fatigue strength*. Penelitian ini dilakukan untuk memperkirakan umur konstruksi dari suatu kapal dengan merujuk pada aturan *Common Structural Rules* untuk perhitungan umur *fatigue*. 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 fatigue yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa nilai perkiraan umur kapal masih memenuhi standar persyaratan dari *Common Structural Rules*, yaitu 25 tahun sebagai batas minimum umur kapal yang diperbolehkan.

Kata kunci : CSR, Perkiraan umur *fatigue*, Artemis Glory

Abstract

The ship became the means of transportation used to transport goods and passengers by a large amount. Many technical factors that can affect performance in sailing ships, one of which is fatigue strength. This study was conducted to estimate the age of the construction of a vessel with a reference to the rules of the Common Structural Rules for calculation of fatigue life. The analysis used is a dynamic load analysis to determine the fatigue life and failure lies the biggest hotspot in the construction of ships based on variations in loading on the CSR. The results of the fatigue analysis undertaken yes it can be concluded that the value of the expected life of the vessel still meets the standard requirements of the Common Structural Rules, 25 years as the minimum age limit of ships that are allowed.

Keywords: CSR, *fatigue life time*, Artemis Glory

1. PENDAHULUAN

Kapal menjadi alat transportasi yang digunakan untuk mengangkut barang dan penumpang dengan jumlah besar. Banyak faktor teknis yang dapat mempengaruhi kinerja kapal dalam berlayar, salah satunya adalah *fatigue strength*. Sejumlah insiden kecelakaan kapal yang terjadi disebabkan oleh *fatigue* pada bagian struktur kapal, hal tersebut menunjukkan bahwa perlu adanya pengawasan yang lebih khususnya terhadap bagian - bagian yang sudah mengalami *fatigue* tersebut[4]

Terdapat banyak catatan kecelakaan kapal yang disebabkan oleh kelemahan desain. Sebagai contoh dapat kita lihat kejadian kecelakaan pada kapal *MV Derbyshire* yang mengalami kecelakaan pada bulan September 1980 di Okinawa Jepang kemudian kecelakaan yang dialami oleh kapal *MT Erikapada* pada bulan Desember 1999 yang menumpahkan 28.000 ton minyak mentah ke laut, Dan kecelakaan kapal yang paling fenomenal yang disebabkan oleh *fatigue* adalah tenggelamnya kapal *MT Prestige* di Galacia, kapal tersebut mengalami *fracture*

sehingga badan kapal patah menjadi dua bagian[8]

Pembuatan kapal harus menggunakan 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.^[2]

Material tersebut akan sampai pada titik lelahnya (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 menahan gaya-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. Dimana 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 tanker*)

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

- 1 mengetahui dimana titik paling rawan terjadi kelelahan
- 2 Berapa *fatigue life* pada daerah *hot spot stress*

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal tanker

Tanker adalah kapal yang dirancang untuk mengangkut cairan dalam jumlah besar. Dalam pengangkutan muatannya, kapal tanker di bagi-bagi lagi dari jenis atau tipenya. Jenis utama tankship termasuk kapal tanker minyak, kapal tanker kimia, dan pembawa gas alam cair. Makin berbahaya muatan yg di bawa, maka sistem desain kapal itu akan makin canggih. Demi keselamatan muatan yang dibawa serta awak kapal tersebut.

2.2 Fatigue kapal tanker

Analisa fatigue pada regulasi *Common Structural Rules* ini hanya merupakan fungsi dari beban akibat beban gelombang air laut (*cycles induced by wave load*) saja yang mempengaruhi dalam perhitungan. Sedangkan analisa fatigue akibat getaran diabaikan atau tidak termasuk kedalam bahan perhitungan. Kapal jenis tanker memiliki keistimewaan dalam bentuk konstruksi. Pada jenis kapal ini banyak ditemukan bagian konstruksi yang berupa sambungan – sambungan

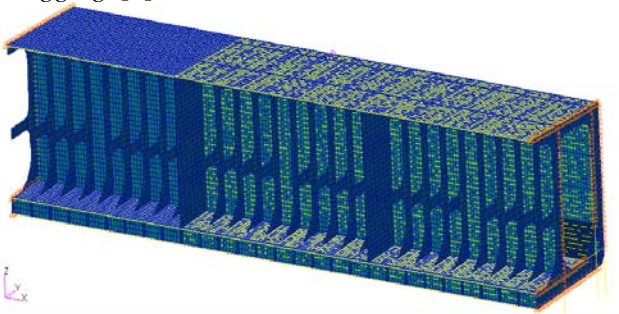
yang sangat rawan terhadap terjadinya retak, Menurut Barsom (1987), *fatigue crack* telah diteliti pada beberapa kelas dari tanker. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa *crack* pada tanker sering terjadi pada beberapa lokasi berikut:

1. Sambungan antara *side shell longitudinal bracket* dengan *transverse bulkheads* dan *web frame*.
2. *Web frame* dari *bottom shell longitudinal stiffner*.
3. *Bottom shell plates* yang dekat dengan *longitudinal*. [1]

oleh karena itu aturan yang dipakai oleh kapal tanker ini sangat jauh berbeda dengan aturan yang dimiliki oleh regulasi *Common Structural Rules* untuk kapal *tanker*.

2.3 Pemodelan Struktural

Untuk kapal tanker dengan pengaturan konvensional, penilaian kekuatan elemen hingga kapal dan anggota struktural utama pendukung adalah sesuai dengan persyaratan dalam bagian ini. Dalam pemodelan finite elemen hingga (FE) ini hanya dibuat tiga tangki ruang muat yang terdekat dengan midship. Hal ini sudah mewakili seluruh bagian kapal, karena di asumsikan bahwa tegangan paling tinggi terdapat pada daerah midship. Tegangan tersebut dikarenakan adanya pengaruh tekanan air laut baik *sagging* maupun *hogging*. [5]



Gambar 1 pemodelan struktural

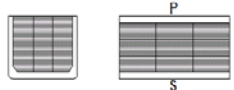
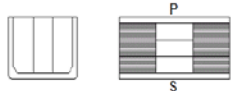
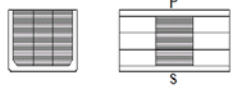
2.4 Variasi Pembebanan Fatigue

Hasil dari kelelahan material didapat melalui beberapa tahap. Pertama dilakukan pembebanan pada model untuk mendapatkan nilai *stress*. Nilai *stress* ini dapat menggambarkan *hotspot stress* (daerah rawan terjadi kelelahan), setelah muncul nilai *stress* baru kemudian dianalisa kelelahannya untuk mendapatkan siklus kehidupan material (*fatigue life*)

Prosedur pembebanan berdasarkan pada pedoman yang diakui, pada analisa *fatigue* kapal

tanker harus menggunakan prosedur CSR for Tanker Fatigue assessment dari CSR bisa dilihat pada buku CSR (korean register) appendix B Structural Strength Assessment.

FE LOAD CASE FOR OIL TANKER WITH TWO OIL-TIGHT LONGITUDINAL BULKHEAD

LOADING PATTERN	FIGURE	DRAUGHT	CONDITIONS
A1		0.9 T	100 % (SAG) 100 % (HOG)
A2		0.9 T	100 % (SAG) 100 % (HOG)
A3		0.9 T	100 % (SAG) 100 % (HOG)

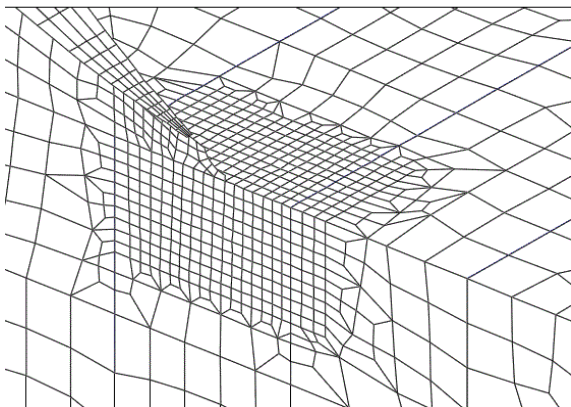
Gambar 2 variasi pembebanan tanker

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 element yang digunakan, semakin banyak jumlah meshing maka nilainya lebih teliti. [3]

Very fine meshes adalah cara untuk menambah ketelitian nilai tegangan yang terjadi dengan cara menambah jumlah meshing pada titik rawan fatigue [Chapter7 section 4 of Common Structural Rules for tanker, 2009].



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 lelah cukup panjang. Metode S-N ini tidak dapat dipakai dalam kondisi sebaliknya (tegangan dalam daerah plastis dan umur lelah relatif pendek)

2.6 Perkiraan Fatigue

Perhitungan Fatigue dari struktur yang ada pada kapal tanker 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. (appendix of JTP Common Structural Rules for Oil Tanker, 2009). [6]

Nilai DM didapat melalui persamaan Palmgren - milner sebagai berikut:

$$DM = \frac{N_L}{N_i} \quad (1)$$

Dimana:

N_L = total asumsi jumlah siklus yang direncanakan untuk 25 th

N_i = jumlah siklus hasil analisa

Nilai N_L didapatkan dari persamaan sebagai berikut:

$$N_L = \frac{0,85T_L}{4\text{Log } L} \quad (2)$$

Dimana:

$$T_L = 7,884 \times 10^8$$

L = panjang kapal

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

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

$$\text{Fatigue life} = \frac{\text{Design life}}{DM} \times \text{years} \quad (3)$$

Dimana:

Design life = 25 tahun, sesuai aturan CSR tanker

DM = Cumulative fatigue damage

Selain persamaan diatas, perkiraan umur fatigue juga bisa dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$DM = \frac{a_i N_L}{K_2} \frac{S_{Ri}^m}{(\ln N_R)^m} \mu_i \Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right) \quad (4)$$

Dimana:

N_L = total asumsi jumlah siklus yang direncanakan untuk 25 th

$$N_L = \frac{f_o u}{4 \log L}$$

a_i = proporsi umur kapal

$a_i = 0,5$ untuk kondisi beban penuh

$a_i = 0,5$ untuk kondisi balas

$f_o = 0,85$, faktor memperhitungkan waktu pada saat tidak berlayar, untuk operasi seperti bongkar muat, perbaikan, dll

u = desain *life*, dalam hitungan detik
 $0,788 \times 10^9$

L = panjang aturan, dalam m, sebagaimana disebutkan dalam bab 4 / 1.1.1.1

m = parameter kurva S-N sebagaimana didefinisikan dalam 1.4.5.5

K_2 = parameter kurva S-N, $1,1014 \times 10^{15}$

ξ = Weibull distribution parameter probabilitas, sebagaimana didefinisikan dalam 1.4.1.6

Γ = Fungsi Gamma

$N_R = 10\ 000$, jumlah siklus sesuai dengan probabilitas tingkat 10^{-4}

S_{RI} = Kisaran stres pada tingkat probabilitas perwakilan dari 10, dalam N / mm^2

3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam proses penelitian ini dibutuhkan data - data dari objek yang dianalisa. Adapun proses pengambilan data terbagi menjadi beberapa tahap antara lain:

3.1 Studi Literatur

Pengambilan data kapal atas rekomendasi dari dosen pembimbing. Data pendukung lainnya diambil dari internet dan buku yang sudah ada

3.2 Identifikasi Permasalahan

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

3.3 Penelitian

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

1. Ukuran utama kapal dan jenis kapal:

Name = ARTEMISGLORY

Type = Tanker

Length Over All = 332 m

Bread Moulded = 58 m

Draught = 22,465 m

DWT = 306507 ton

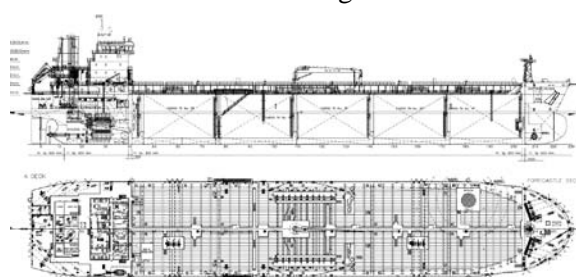
Flag = Panama

2. Gambar kapal Artemis Glory



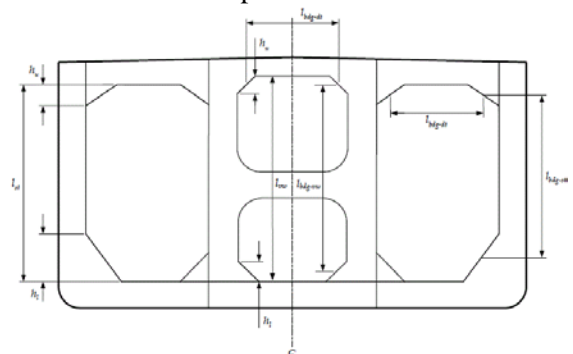
Gambar 4 Artemis glory

3. Gambar General Arrangement



Gambar 5 General Arrangement

4. Gambar Midship Section



Gambar 6 Midship Section

5. Tebal material yang di analisa

6. Muatan kapal (*crude oil*)

3.4 Pengumpulan Data

Pengambilan data dan metode yang digunakan dalam pengumpulan data adalah dengan observasi gambar-gambar teknis yang bertujuan untuk memperoleh data-data yang bersifat primer.

3.5 Pengolahan Data

Pengolahan dilakukan setelah semua data sudah diperoleh, pada pengerjaan tugas akhir ini pengolahan data dimulai dari:

a) Pembuatan model ruang muat

Membuat model ruang muat dengan memasukkan data-data dimensi ruang muat sesuai pembagian searah sumbu x,y,z menggunakan *software* MSC Patran

b) Pembebanan

Hasil model ruang muat yang dibuat diberi beban dan gaya-gaya yang mempengaruhi kelelahan material sesuai dengan prosedur CSR sehingga didapatkan hotspot stress

c) Analisa Kelelahan Material

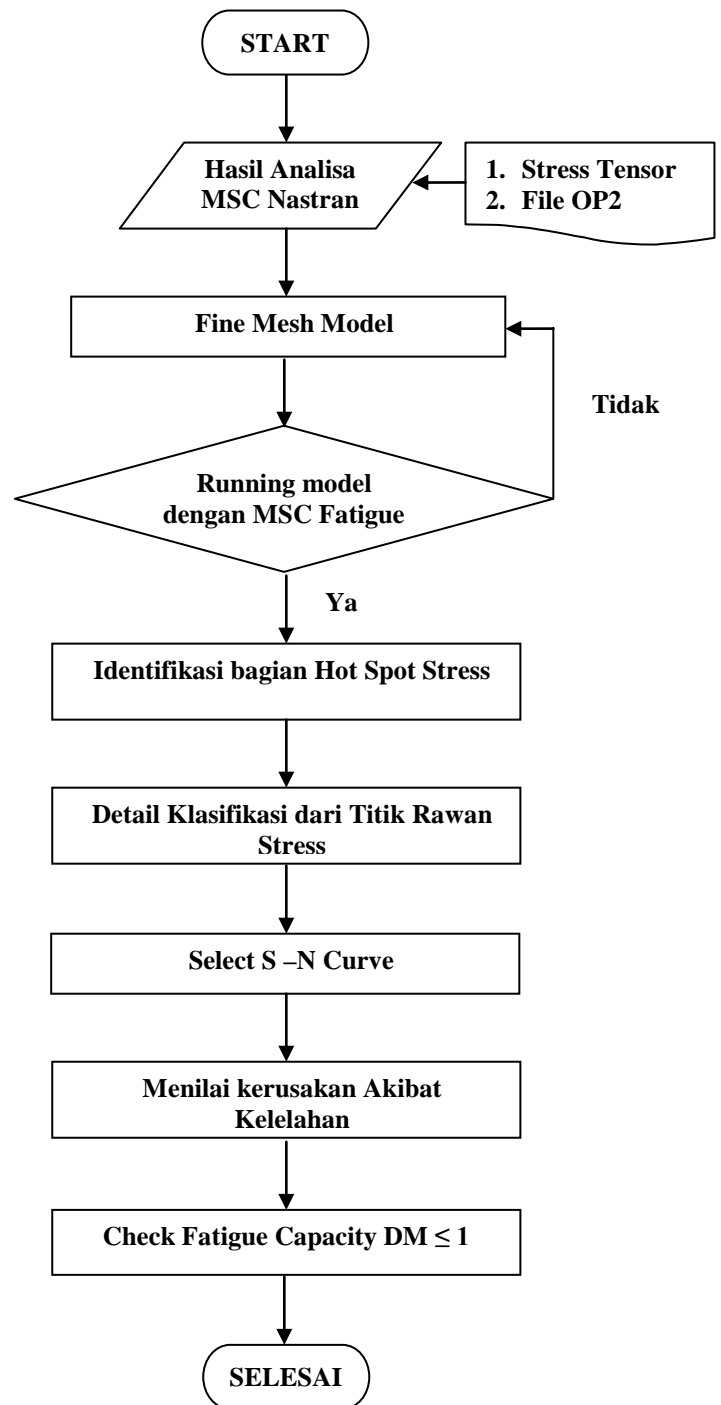
Analisa kelelahan material dilakukan setelah mengetahui nilai tegangan tertinggi pada model yang sudah *dirunning*. Nantinya nilai tegangan akan diubah menjadi jumlah siklus material tersebut.

3.6 Penyajian Data Hasil Perhitungan

Semua hasil pengolahan data berupa gambar model, *display* hasil analisis tegangan terbesar, *display* hasil analisis jumlah siklus terpendek dari setiap variasi pembebanan, dan nilai perhitungan lainnya yang terjadi kemudian dilakukan pengelompokkan agar mudah dalam penyusunan laporan.

3.7 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 penelitian. Penelitian ini dimulai dengan tahap pengumpulan data – data penunjang untuk penelitian Tugas Akhir yang kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data dan dilanjutkan ke tahap analisa yaitu didapatkan *output* yang sesuai dengan tujuan awal penelitian, sehingga diperoleh kesimpulan akhir.



Gambar 7 diagram alir fatigue

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. [7]



Gambar 8 Kapal patah akibat *fatigue*

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

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

4.2 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.

Dengan dasar rumus:

$$\text{tegangannya} = \frac{\text{gaya}}{\text{satuan luas}} \text{ atau } \sigma = \frac{F}{A} \quad (5)$$

Dengan satuan sama dengan tekanan (pascal/ mega pascal)

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* *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 :

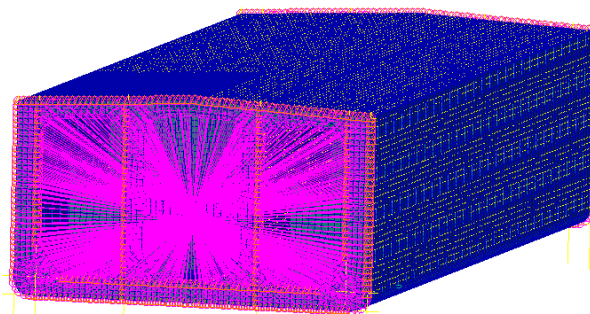
Modulus Elasticity = 2.06 E⁵ Mpa

Shear Modulus = 79230.76

Poisson's Ratio = 0.30000001

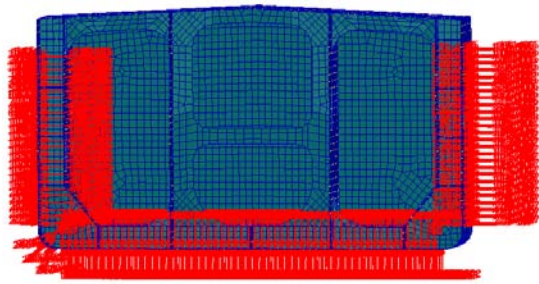
Density = 7.8499998E-009

3. Proses *Meshing* adalah proses dimana model dibuat menjadi kumpulan nodal elemen hingga dengan ukuran yang lebih kecil dan saling terhubung. Karena konstruksi kapal Tanker 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.



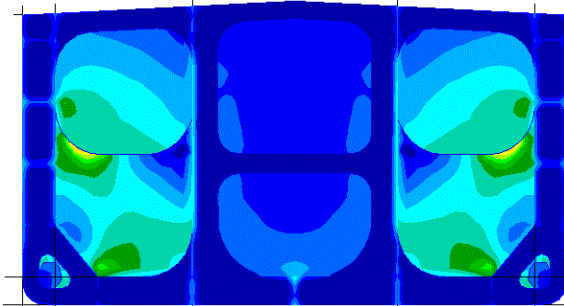
Gambar 9 Hasil *Meshing*

4. Penentuan Kondisi Batas (*Boundary Condition*) Kondisi batas untuk diterapkan ke ujung model tangki kargo menjadi sesuai dengan aplikasi unit lentur vertikal dan horisontal saat di model ujung Semua kondisi batas yang diuraikan dalam bagian ini sesuai dengan global sistem koordinat yang ditetapkan dalam Bagian 4 / 1.4 (CSR) kondisi batas untuk diterapkan di ujung tangki kargo Model FE. Analisis mungkin dilakukan dengan menerapkan semua beban untuk model sebagai kasus beban lengkap atau menggabungkan respon stress yang dihasilkan dari beberapa sub-kasus terpisah.
- 5 Penentuan pressure yang diberikan didasarkan pada perencanaan asumsi pembebanan sesuai pedoman buku *CSR tanker*



Gambar 10 Kondisi batas dan *pressure*

6. *General Postprocessing*, Dalam tahap *postprocessing* akan dapat diketahui hasil dari running perhitungan *software* sesuai dengan masing-masing kejadian Variasi di buku *CSR tanker*. Nantinya didapatkan hasil *strees* tertinggi dan lokasi *hotspot strees*



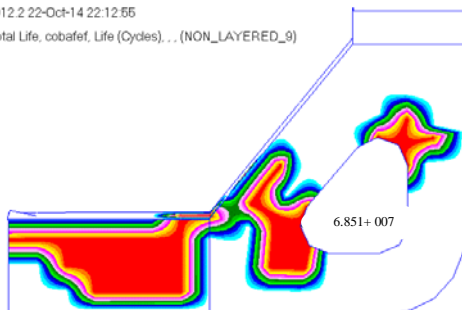
Gambar 11 Letak *Hotspot strees*

Tabel 1 Rekapitulasi hasil tekanan

No	Jenis Variasi pembebanan	Maksimum Strees (Mpa)
1	A1	1,73 E+2
2	A2	1,32 E+2
3	A3	1,05 E+2

Nilai *strees* kemudian diruning menggunakan *MSC Fatigue* untuk mendapatkan nilai siklus kelelahan material pada *hotspot stress*.

Patran 2012.2 22-Oct-14 22:12:55
Fringe: Total Life, cobafef, Life (Cycles),...(NON_LAYERED_9)



Gambar 12 jumlah siklus terpendek

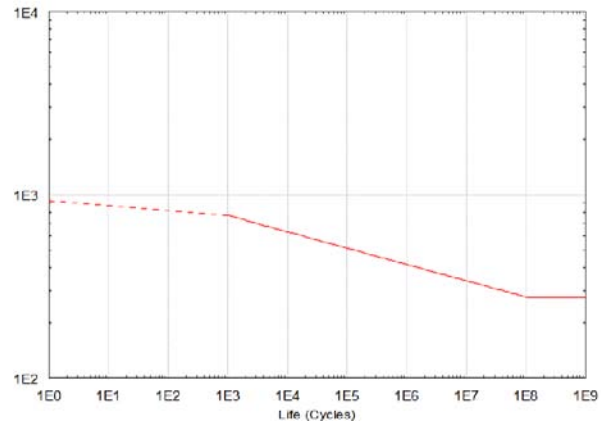
Semua variasi pembebanan diruning untuk mengetahui siklus terpendek pada setiap variasi pembebanan

Tabel 2 Rekapitulasi hasil siklus

No	Jenis Variasi pembebanan	Siklus terendah
1	A1	$0,685 \times 10^8$
2	A2	$0,728 \times 10^8$
3	A3	$0,775 \times 10^8$

4.4 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 lelah cukup panjang. Metoda S-N ini tidak dapat dipakai dalam kondisi sebaliknya (tegangan dalam daerah plastis dan umur lelah relatif pendek). Berikut adalah gambaran kurva S-N dari material yang diuji dari *software*:



Gambar 13 kurva S-N

4.5 Validasi

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

Validasi Model

Validasi dilakukan setelah pemodelan selesai.

a. Validasi Sebelum Tahap Analisa (*Preprocessor Check*) Validasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah model yang sudah dibuat ada masalah atau tidak.

b. Validasi Sesudah Tahap Analisa (*Postprocessor Check*) Validasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah ada kesalahan atau *error* setelah model dianalisa.

4.6 Perkiraan Umur kapal

Tahap ini merupakan *out put* dari analisa menggunakan *software* yang nantinya didapatkan

umur kapal dalam tahun. Perkiraan umur material ini menggunakan rumus dasar:

$$Fatigue\ life = \frac{Design\ life}{DM} \times years \quad (6)$$

Dimana:

Design life = 25 tahun, sesuai aturan CSR *tanker*

DM. = *Cumulative fatigue damage*

Nilai Dm sendiri didapat dengan dasar rumus sebagai berikut:

$$DM = \frac{N_L}{N_i} \quad (7)$$

Dimana:

N_L = total asumsi jumlah siklus yang direncanakan untuk 25 th

N_i = jumlah siklus hasil analisa

Nilai N_L didapatkan dari persamaan sebagai berikut:

$$N_L = \frac{0,85T_L}{4\log L} \quad (8)$$

Dimana:

$$T_L = 7,884 \times 10^8$$

L = LPP kapal

Berdasarkan rumus diatas didapatkan nilai N_L sebesar $0,6717 \times 10^8$ siklus

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

Tabel 3 Rekapitulasi hasil DM

No	Jenis Variasi pembebanan	DM
1	A1	0,97010
2	A2	0,91280
3	A3	0,85744

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

Tabel 4 Perkiraan Umur kapal

No	Jenis Variasi pembebanan	DM	Umur (tahun)
1	A1	0,9805	25,7705
2	A2	0,9226	27,3882
3	A3	0,8667	29,1563

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa *fatigue* kapal *tanker* 306507 dwt dengan prosedur CSR diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai DM yang didapat pada tiap-tiap variasi pembebanan
 - a) Pada saat muatan penuh, nilai DM kapal 0,97010
 - b) Pada saat muatan tengah kosong, nilai DM kapal 0,91280
 - c) Pada saat Muatan tengah isi, nilai DM kapal 0,85744

2. Umur kapal *tanker* 306507 dwt dengan variasi kondisi pembebanan adalah sebagai berikut:

- a) Pada saat muatan penuh, nilai umur kapal 25,7705 tahun
- b) Pada saat muatan tengah kosong, nilai umur kapal 27,3882 tahun
- c) Pada saat Muatan tengah isi, nilai umur kapal 29,1563 tahun

Dalam analisa kapal *tanker* 306507 dwt ini, nilai umur kapal masih memenuhi persyaratan yang ada pada CSR yaitu diatas 25 tahun.

5.2 Saran

1. Analisa ini menggunakan solusi parameter dari Goodman, untuk kedepannya bisa dicoba dengan solusi parameter yang lain.
2. Untuk mencapai ketelitian yang maksimal dalam analisa kelelahan kapal *tanker* 306507 dwt sebaiknya dilakukan sempel pengujian pada *hotspot strees* menggunakan alat uji.
3. *Very fine mesh* yang tepat akan menambah ketelitian perhitungan pada *software*.
4. Penambahan *history* siklus kelelahan tiap jam akan lebih memudahkan peneliti dalam menganalisa jika dibanding dengan menggunakan rumus perhitungan perkiraan umur.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Barsom. 1987. *“Ship Structural Concept.”* Cornell Maritime Press, Inc.
- [2] Germanischer Lloyd, 2008 *“Rules for hull structure”*
- [3] Germanischer Lloyd, 2008. *“Rules for classification and construction ship technology of Chemical Tanker”*
- [4] H. Cramer, Robert Ioseth & Kjell Olaisen, *“Fatigue Assessment of Ship Structures”*, Elsevier, 1994.
- [5] Korean Register, 2009. *“Common Structural Rules for tanker”*.
- [6] JTP., *“Common Structural Rules”*, IACS, 2009.
- [7] Sebastian, Jajang. 2011. *Analisa Fatigue Kekuatan Setrn Ramp Door Akibat Beban Dinamis Pada KM. Kirana I Dengan Metode Elemen Hingga Diskrit Elemen Segitiga Plane*
- [8] *www.Shipwreckarchives .com*, 2009.