

# Perkiraan *Fatigue Life* pada *Bracket* Kapal Tanker Berdasarkan *Common Structural Rules*

Dita Septiana, Soewefy, dan Asjhar Imron

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*E-mail:* aimron@na.its.ac.id

**Abstrak**—Umur kelelahan (*fatigue life*) dari struktur kapal dianalisis dengan menggunakan standar pada *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*. Kapal tanker *single hull* direncanakan akan dikonversi menjadi FPSO sehingga perlu diketahui sisa *fatigue life* konstruksinya. Dalam penelitian ini, fokus analisis dilakukan pada konstruksi *bracket* karena *bracket* sebagai salah satu penopang yang esensial pada kapal ini. Oleh karena itu, perlu diketahui letak *bracket* dengan tegangan paling besar dan besar *fatigue life*nya. Kapal tersebut dimodelkan menggunakan *software MSC Patran* sebagai *pre-processor* dan *MSC Nastran* sebagai *processor*. Bagian kapal yang dimodelkan adalah 3 ruang muat pada *midship*. Ruang muat pada bagian tengah dari ketiga ruang muat tersebut adalah ruang muat yang paling besar. *Fatigue life* yang dianalisa merupakan pengaruh dari beban lingkungan (beban gelombang air laut) dan beban internal (beban tangki). Kondisi pembebanan yang dilakukan ada 6 macam *load cases* sesuai dengan ketentuan *CSR*. Tegangan pada *bracket* yang didapat dari pemodelan diambil tegangan yang paling besar untuk dianalisa *fatigue life*nya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *bracket* dengan tegangan paling besar terjadi pada *web frame 7* pada ruang muat tengah dan pada kondisi pembebanan A2 didapat umur kapal yang paling rendah yaitu sebesar 26 tahun.

**Kata Kunci**—*CSR*, perkiraan umur kelelahan, tanker.

## I. PENDAHULUAN

DALAM industri perkapalan, mengetahui umur kapal sangatlah penting. Umur dari sebuah kapal tergantung dari struktur yang membangunnya. Struktur kapal merupakan konstruksi yang sangat kompleks. Salah satu konstruksi pada kapal adalah *bracket*. *Bracket* merupakan konstruksi penopang penegar. Ada beberapa kapal yang tidak menggunakan *bracket* dan ada juga kapal yang menggunakannya. Penggunaan *bracket* tidaklah wajib namun bila menggunakannya akan mengecilkan modulus dari penegar sehingga kapal menjadi lebih ringan. *Bracket* juga memiliki *fatigue life* dimana *fatigue life* tersebut berpengaruh pada umur kapal.

Kelelahan (*fatigue*) adalah kecenderungan suatu struktur untuk mengalami kerusakan atau bahkan patah karena adanya beban berulang yang diterima, dimana besarnya beban tersebut masih di bawah tegangan maksimum struktur. Apabila hal tersebut terus berlanjut, maka akan terjadi keretakan sampai akhirnya dapat terjadi patah. Umumnya, kapal didesain tahan hingga 25 tahun.

Kapal tanker *single hull* dibangun menggunakan regulasi

lama sehingga perlu diketahui kekuatan struktur konstruksinya berdasarkan peraturan yang terbaru. Kapal ini akan dimodelkan dengan menggunakan *software MSC Patran* sebagai *pre-processor* dan *MSC Nastran* sebagai *processor*. Kemudian diambil dua *bracket* yang memiliki tegangan paling kritis untuk dianalisis *fatigue life*nya. Analisis *fatigue life* membutuhkan input berupa beban. Beban yang mempengaruhi *fatigue life* antara lain beban internal pada kapal, beban akibat lingkungan (gelombang air laut), dan getaran. Pada kasus ini, beban yang dipakai adalah beban akibat lingkungan dan beban internal karena proses pemodelannya lebih mudah.

Regulasi yang akan dipakai sebagai acuan adalah *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker (CSR)*. Pada *CSR* dijabarkan cukup jelas dan lengkap mengenai aturan-aturan tentang perhitungan *fatigue*.

Untuk menyisipkan gambar, tempatkan kursor pada titik yang dituju kemudian pilih di antara: *Insert | Picture | From File* atau kopi gambar ke *clipboard* lalu pilih *Edit | Paste Special | Picture* (dengan “float over text” tidak dicentang).

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Kelelahan (*fatigue*) sangat mempengaruhi retak (*crack*) yang terjadi pada struktur detail sambungan [1]. Selama beberapa tahun, kelelahan (*fatigue*) telah menjadi hal yang dipertimbangkan dalam kekuatan kapal yang sudah beroperasi maupun kapal baru. Dalam penelitian sebelumnya [2], dilakukan perhitungan *fatigue life* terhadap kapal tanker berdasarkan *CSR*. Kapal tanker yang digunakan adalah kapal tanker dengan satu sekat memanjang. Pada penelitian ini, kapal tanker yang diteliti adalah kapal tanker dengan dua sekat memanjang sehingga perhitungan bebannya berbeda.

[3] telah melakukan penelitian tentang perkiraan umur konstruksi FPSO konversi dari tanker dengan analisis *fatigue* dengan dua metode yaitu *deterministic* dan *simplified*. Hasil menunjukkan bahwa metode *simplified* lebih akurat. Metode *simplified* adalah metode perhitungan *fatigue* dengan mempertimbangkan probabilitas dari kejadian gelombang yang terdistribusi secara acak, dengan adanya faktor *Weibull Shape Parameter*. Faktor weibull digunakan dalam perhitungan *fatigue* menurut *CSR*. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dipilih *CSR* sebagai acuan perhitungan *fatigue life*nya.

III. METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan pada 3 ruang muat di daerah *midship* dengan menggunakan *MSC Patran* dan *Nastran*. Setelah dibuat 3 ruang muat, material properties dimasukkan pada model (tebal pelat, ukuran profil, modulus elastisitas, jenis baja). Kemudian dilakukan perhitungan beban yang akan diinputkan pada model.

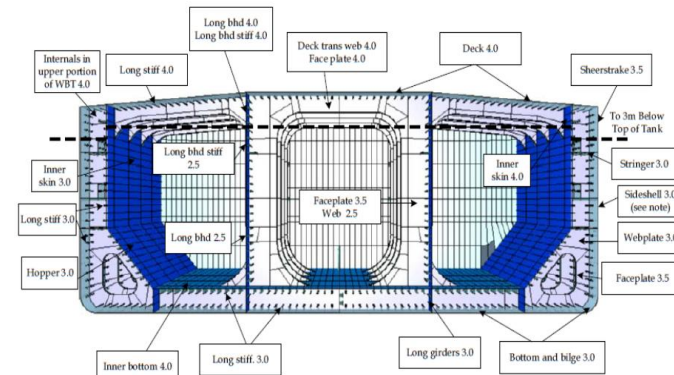
A. Faktor Korosi

Perhitungan tebal pelat yang ada pada struktur harus ditambahkan faktor korosi. Penambahan faktor korosi berbeda pada tiap-tiap tempat karena beban yang diterima berbeda.

Perhitungan pada tegangan penumpu lambung dengan menggunakan tebal aktual ditambahkan  $-0,25t_{corr}$ . Namun, untuk bagian struktur lainnya, seperti penegar dan pelat, perhitungan tegangan menggunakan tebal actual ditambahkan  $-0,5t_{corr}$ .

B. Hot Spot Area

Dalam [4] ditentukan bahwa area yang dinyatakan sebagai area kritis (*Hot Spot Areas*) ada 4, yaitu sambungan antara *inner bottom* dengan *hopper tank* (tanpa *bracket*), sambungan antara *inner bottom* dengan *hopper tank* (dengan *bracket*), sambungan antara *inner bottom* dengan *hopper tank* (pelat



Gambar. 1. Faktor korosi pada setiap bagian struktur

dibengkokkan), dan sambungan antara *horizontal girder* dengan *inner hull*. Namun, hot spot area yang sesuai dengan model adalah sambungan antara *inner bottom* dengan *hopper tank* (dengan *bracket*).

C. Pembebanan

Beban-beban yang terjadi terdiri dari 4 macam beban. Beban tersebut antara lain beban gelombang (eksternal) statis / *static wave pressure*, beban tangki (internal) statis / *static tank pressure*, beban gelombang (eksternal) dinamis / *dynamic wave pressure*, dan beban tangki (internal) dinamis / *dynamic tank pressure*. Beban gelombang (eksternal) merupakan beban pada kapal yang ditimbulkan dari gelombang air laut, sedangkan beban tangki (internal) merupakan beban pada kapal yang ditimbulkan akibat tekanan dari muatan pada tangki.

1) Beban Gelombang Statis

$$P_{hys} = \rho_{sw} * g * (T_{LC} - z) \tag{1}$$

dengan  $z$  adalah jarak vertikal dari titik beban (m),  $\rho_{sw}$  adalah berat jenis air laut ( $\text{ton/m}^3$ ),  $T_{LC}$  sarat pada kondisi *loading* (m),  $g$  percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ ).

2) Beban Tangki Statis

$$P_{in-tk} = \rho * g * z_{tk} \tag{2}$$

dengan  $z_{tk}$  adalah jarak vertical dari titik tertinggi tangki (m),  $\rho$  berat jenis cairan pada tangki ( $\text{ton/m}^3$ ).

3) Beban Gelombang Dinamis

Antara centerline dan bilga

$$P_{wv-dyn} = P_{ctr} + \frac{|y|}{0,5B_{local}} (P_{bilge} - P_{ctr}) \tag{3}$$

Antara bilga dan still water

$$P_{wv-dyn} = P_{bilge} + \frac{z}{T_{LC}} (P_{WL} - P_{bilge}) \tag{4}$$

Pada sisi lambung di atas still water

$$P_{wv-dyn} = P_{WL} - 10(z - T_{LC}) \tag{5}$$

$P_{wv-dyn}$  dalam satuan  $\text{kN/m}^2$

4) Beban Tangki Dinamis

$$P_{in-dyn} = f_{\beta} (f_v P_{in-v} + f_t P_{in-t} + f_{lng} P_{in-lng}) \tag{6}$$

Variabel-variabel di atas didapat dari rumus pada *CSR for tanker section 7, 3.5.4.1*. sebagai berikut:

$$P_{in-v} = \rho a_v |z_0 - z| \text{ akibat vertical acceleration} \tag{7}$$

$$P_{in-t} = \rho a_t |y_0 - y| \text{ akibat transverse acceleration} \tag{8}$$

$$P_{in-lng} = \rho a_{lng} |x_0 - x| \text{ akibat longitudinal acceleration} \tag{9}$$

Setelah melakukan input pembebanan pada model, langkah selanjutnya adalah melakukan running model menggunakan *solver MSC Nastran* sehingga akan didapatkan tegangan. Hasil tegangan pada *hotspot* yang didapat dari analisa dapat mencari harga *fatigue damage* dan *fatigue life* untuk masing masing *load cases*.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bagian ini akan menganalisis dan membahas proses pengujian model yang telah dibangun pada tahapan sebelumnya. Hasil dari pemodelan yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1 s/d Tabel 6.

A. Kondisi Pembebanan 1

Tabel 1. Hasil tegangan pada LC1

Variasi	Frame	$\sigma_{max}$ N/mm <sup>2</sup>
1 (Mwv Sagging)	7	35
2 (Mwv Hogging)	7	53,3
3 (Qwv Sagging)	7	24,8
4 (Qwv Hogging)	2	29,5
5a	7	32,5
5b	7	48,6
6a	1	28,3
6b	7	35,1

B. Kondisi Pembebanan 2

Tabel 2. Hasil tegangan pada LC2

Variasi	Frame	$\sigma_{max}$ N/mm <sup>2</sup>
1 (Mwv Sagging)	7	35,7
2 (Mwv Hogging)	7	44,1
3 (Qwv Sagging)	7	34,2
4 (Qwv Hogging)	7	29,7
5a	7	50,0
5b	7	71,0
6a	7	31,7
6b	7	53,0

C. Kondisi Pembebanan 3

Tabel 3. Hasil tegangan pada LC3

Variasi	Frame	$\sigma_{max}$ N/mm <sup>2</sup>
1 (Mwv Sagging)	2	41,2
2 (Mwv Hogging)	7	39,9
3 (Qwv Sagging)	7	30,2
4 (Qwv Hogging)	1	31,6
5a	7	45,9
5b	7	67,1
6a	1	32,1
6b	7	48,0

D. Kondisi Pembebanan 4

Tabel 4. Hasil tegangan pada LC4

Variasi	Frame	$\sigma_{max}$ N/mm <sup>2</sup>
1 (Mwv Sagging)	1	36,2
2 (Mwv Hogging)	7	40,7
3 (Qwv Sagging)	7	31,0
4 (Qwv Hogging)	1	28,5
5a	7	41,5
5b	7	57,2
6a	7	28,7
6b	7	44,7

E. Kondisi Pembebanan 5

Tabel 5. Hasil tegangan pada LC5

Variasi	Frame	$\sigma_{max}$ N/mm <sup>2</sup>
1 (Mwv Sagging)	4	34,8
2 (Mwv Hogging)	8	43,7
3 (Qwv Sagging)	8	33,0
4 (Qwv Hogging)	7	29,4
5a	8	49,7
5b	8	70,4
6a	8	30,7
6b	8	52,7

F. Kondisi Pembebanan 6

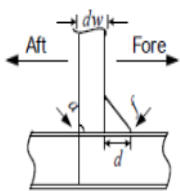
Tabel 6. Hasil tegangan pada LC6

Variasi	Frame	$\sigma_{max}$ N/mm <sup>2</sup>
1 (Mwv Sagging)	7	38,6
2 (Mwv Hogging)	8	26,6
3 (Qwv Sagging)	7	21,5
4 (Qwv Hogging)	7	30,5
5a	7	27,2
5b	8	44,8
6a	7	29,7
6b	8	31,5

G. Faktor Konsentrasi Tegangan

Adalah faktor konsentrasi tegangan yang terjadi pada detail struktur akibat adanya diskontinuitas seperti lubang atau retakan. Semua faktor konsentrasi tegangan yang berpengaruh pada kondisi sambungan harus diperhatikan dan dimasukkan ke dalam perhitungan. Berdasarkan [5] faktor-faktor konsentrasi tegangan seperti  $K_{gl}$ ,  $K_{gh}$ ,  $K_{df}$  serta  $K_{dA}$  harus diperhitungkan untuk menghitung faktor konsentrasi tegangan total K.

Tabel 7. Faktor Konsentrasi Tegangan

Tipe sambungan	Kelas	SCF		
		Kgl	Kgh	K
	F2	1,05	1,05	1,1025

Untuk mendapatkan rentang tegangan yang digunakan sebagai inputan dalam menghitung *cumulative fatigue damage*, maka tegangan pada sambungan dengan seluruh variasi kondisi pembebanan harus dikalikan dengan faktor konsentrasi tegangan sesuai dengan tabel 4.7 di atas, sehingga akan didapat rentang tegangan  $S_{Ri}$ .

H. Cummulative Fatigue Damage

$$DM_i = \frac{\alpha_i N_L}{K_2} \frac{S_{Ri}^m}{(\ln N_R)^{m/\xi}} \mu_i \Gamma \left( 1 + \frac{m}{\xi} \right) \quad (10)$$

Dimana:

$N_L$  jumlah cycles

Pada umumnya memiliki nilai  $0,6 \times 10^8$  dan  $0,8 \times 10^8$  cycles untuk design life 25 tahun

$f_0$  0,85, faktor yang diambil dari perhitungan *non-sailing time for operations* seperti saat *loading* dan *unloading*, perbaikan, perawatan, dan lain – lain.

$U$  design life, dalam detik

=  $0,788 \times 10^9$  untuk desain life 25 tahun

$L$  panjang konstruksi, dalam meter

$m$  parameter kurva S-N

$K_2$  parameter kurva S-N

$\alpha 1 = 0,5$  untuk kondisi full load

$\alpha 2 = 0,5$  untuk normal ballast

$SRi$  stress range

$N_R$  10.000, jumlah cycle berdasarkan level of  $10^{-4}$

$\xi$  Weibull probability distribution parameter

$\Gamma$  Gamma function

$\mu_i$  koefisien diambil dari *S-N curve*

$$\mu_i = \frac{\left\{ \gamma \left( 1 + \frac{m}{\xi}, v_i \right) - v_i^{-\Delta m / \xi} \gamma \left( 1 + \frac{m + \Delta m}{\xi}, v_i \right) \right\}}{\Gamma \left( 1 + \frac{m}{\xi} \right)} \quad (11)$$

$Sq$  nilai tegangan pada *intersection S-N curve* dalam N/mm<sup>2</sup>

$\Delta m$  slope dari *S-N curve* = 2

$\gamma(a,x)$  *incomplete Gamma function*

Tabel 8. Cumulative Fatigue Damage

Load Case	Sambungan	DM
A1	Antara bracket pada web frame dan inner bottom	0,34426
A2		0,98444
A3		0,70664
A4		0,43185
A5		0,86679
A6		0,16078

I. UMUR KELELAHAN STRUKTUR

$$fatiguelife = \frac{Designlife}{DM} \quad (\text{tahun}) \quad (12)$$

Tabel 9. Umur Kelelahan Struktur

Load Case	DM	Fatigue Life (tahun)
A1	0,34426	73
A2	0,98444	26
A3	0,70664	36
A4	0,43185	58
A5	0,86679	27
A6	0,16078	156

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pembahasan, kesimpulan yang dapat diambil adalah lokasi tegangan paling kritis terletak pada bracket di *web frame 7* dan *fatigue life* pada *bracket* tersebut sebesar 26 tahun. Namun, untuk penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk menghitung beban pada kondisi ballast.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terkait dengan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G.E. Horn, Y.K. Chen, J.M. Chen, *Safehull Fatigue Assessment of Ship Structural Details*, American Bureau of Shipping, New York, (1999).
- [2] O.A. Putra, *Perkiraan Umur Konstruksi Kapal dengan Analisa Fatigue: Studi Kasus pada Kapal Tanker 24.000 DWT*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, (2011).
- [3] P. Kurnianto, *Perkiraan Umur Konstruksi FPSO Konversi dari Tanker dengan Analisis Fatigue*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, (2012).
- [4] International Association of Classification Societies, *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*, IACS Council, London, (2010).
- [5] International Association of Classification Societies, *Common Structural Rules for Bulk Carriers*, IACS Council, London, (2006).