

# ANALISA KELELAHAN STRUKTUR FPSO PT. IRVINE ENGINEERING DUBAI

Putri Talia S<sup>1)</sup>, Juswan<sup>2)</sup>, dan Muhammad Zubair Muis Alie<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Alumni Departemen Teknik Kelautan Universitas Hasanuddin

<sup>2)</sup>Dosen Departemen Teknik Kelautan Universitas Hasanuddin

Email: [putritalias2109@gmail.com](mailto:putritalias2109@gmail.com)

## Abstrak

FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*) merupakan bangunan pengeboran dan penyimpanan minyak lepas pantai yang bersifat *mobile*. Dengan adanya pengaruh beban lingkungan yang bersifat acak dan siklik, dapat mempengaruhi perilaku struktur kapal FPSO. Seiring dengan berjalannya masa operasi, maka sangat penting untuk melakukan analisa kelelahan dengan maksud untuk memperkirakan umur struktur (*fatigue life*) FPSO. Struktur yang akan dianalisis adalah FPSO milik PT. *Irvine Engineering* Dubai di perairan Laut China Selatan. Metode analisis yang digunakan adalah *spectral fatigue analysis*. Adapun spektrum gelombang yang digunakan adalah spektrum gelombang JONSWAP. Dari hasil perhitungan spektrum JONSWAP kemudian dilanjutkan dengan perhitungan RAO dan perhitungan *stress respon spectra*. Berdasarkan perhitungan *stress respon spectra* dapat diketahui nilai *zero moment* dan *second moment*. Sedangkan untuk siklus kegagalan menggunakan metode palmgren-miner berdasar kurva S-N. Maka, didapatkan umur kelelahan (*fatigue life*) struktur selama masa operasi adalah 14 tahun.

**Kata Kunci:** FPSO, *fatigue life*, *spectral fatigue analysis*, JONSWAP, *palmgren-miner*, S-N Curve, RAO, *respon spectra*

## PENDAHULUAN

Seiring dengan peningkatan kemampuan teknologi eksplorasi minyak dan gas, serta ditemukannya cadangan minyak di laut dalam maka teknologi bangunan lepas pantai juga mengalami kemajuan yang signifikan. Sistem *floating production storage and offloading* (FPSO) telah menjadi metode utama yang digunakan untuk mengoptimalkan daerah produksi minyak dan gas lepas pantai di seluruh dunia termasuk FPSO milik PT. *Irvine Engineering* Dubai. Permasalahan yang selalu ada pada FPSO adalah kerusakan akibat beban lingkungan yang bersifat siklik. Kerusakan bangunan laut terutama terjadi akibat kelelahan (*fatigue*), baik pada komponen struktur utama maupun sekunder dan tersier (Djamitko, 2012).

## TINJAUAN PUSTAKA

### *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO)

FPSO adalah bangunan terapung paling produktif di bidang industri lepas pantai yang dikembangkan pada tahun 1970 untuk menghasilkan minyak dan gas dengan menggunakan jaringan pipa atau struktur tetap. FPSO merupakan bangunan pengeboran dan penyimpanan minyak lepas pantai yang bersifat portable. Dalam artian dapat berpindah-pindah. Adapun hasil pemisahan dari produk pengeboran adalah *crude oil*, air dan gas.

### Analisa Kelelahan

Bangunan lepas pantai banyak sekali mengalami beban yang sifatnya berulang (siklik) yang menyebabkan berkurangnya kekuatan. Fenomena ini dikenal dengan istilah *fatigue*, dan secara esensial ditandai dengan proses keretakan (*crack*) dan pada proses selanjutnya terjadi penjararan dan kerusakan (Soedjono, 1989). Analisa kelelahan dapat dilakukan dengan menggunakan 2 metode.



## Palmgren-Miner

Umur kelelahan dari sebuah sambungan yang di las bergantung pada banyak faktor. Antara lain karakteristik material, cacat dan retak mikro, bentuk geometris las dan lainnya. Kerusakan akibat kelelahan pada struktur lepas pantai secara dominan disebabkan oleh beban gelombang. Tegangan yang disebabkan oleh beban ini selalu berubah arah dan besarnya dan berlangsung secara acak.

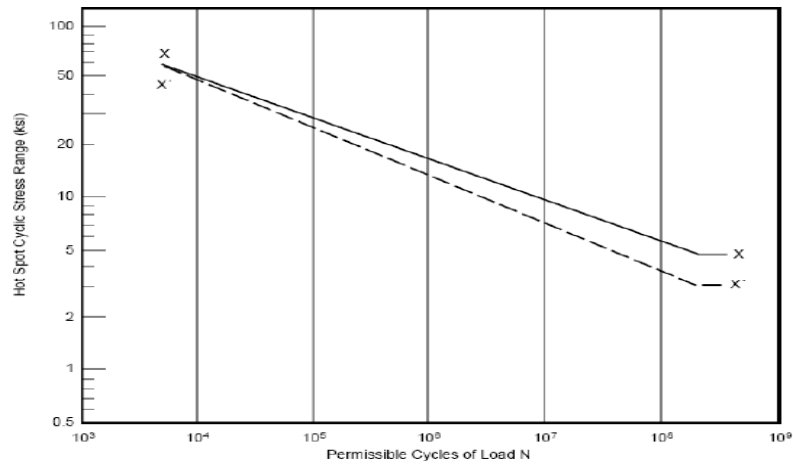
$$D = \sum_i^k n_i / N_i \quad (1)$$

Dimana  $n_i$  = Jumlah *cycle* kolom interval rentangan tegangan dari rentangan distribusi tegangan jangka panjang dan  $N_i$  = Jumlah *cycle* untuk gagal pada perhitungan tegangan yang sama, didapatkan dari kurva S-N. Hubungan antara  $N_i$  dan  $S_i$  dapat diambil dari *fatigue curve* (S-N curve). Formulasi umur kelelahan dari suatu struktur:

$$\text{Umur kelelahan} = 1/D \quad (2)$$

## Kurva S-N

Dasar dari kurva S-N atau *Wohler curve* adalah plot dari *Stress* (S) versus jumlah *cycle* (N). Kurva ini digunakan untuk menyatakan karakteristik kelelahan pada material yang mengalami pembebanan yang berulang pada *magnitude* konstan.



**Gambar 2.** Kurva S-N API untuk Analisis Kelelahan

Gambar 2 dapat didekati dengan menggunakan Persamaan 3.

$$N = 2 \times 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)^{-m} \quad (3)$$

Dimana N adalah nilai siklus yang di izinkan untuk penggunaan siklus rentang tegangan  $\Delta\sigma$ , dengan  $\Delta\sigma_{ref}$  dan m seperti pada penjelasan Tabel 1.

**Tabel 1.** Formulasi *fatigue* S-N Curves (API RP 2A-WSD 2000)

Curve	$\Delta\sigma_{ref}$ Stress range at 2 million Cycles	M inverse log-log slope	Endurance limit at 200 million Cycles
X	14,5 ksi (100 MPa)	4,38	5,07 ksi (35 MPa)
X'	11,4 ksi (79 MPa)	3,74	3,33 ksi (23 MPa)

## Spectral Fatigue Analysis

Persamaan spectral fatigue analysis diberikan,

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[ -1,25 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma \exp \left[ \frac{-(\omega - \omega_0)^2}{2 \tau^2 \omega_0^2} \right] \quad (4)$$

dimana  $\gamma$  : *peak edness* parameter,  $\tau$  : *shape* parameter,  $\tau_a$  : untuk  $\omega \leq \omega_0$ , dan  $\tau_b$  : untuk  $\omega \geq \omega_0$ .

Dengan mempertimbangkan angin dengan kecepatan  $U\omega$  dan jarak (*fetch*) =  $x$ , sehingga harga rata-rata adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \gamma &= 2 - 3,33 \text{ merupakan variasi dari } 1-7, \text{ di perairan Indonesia umumnya nilai } \gamma \text{ yang dipakai sebesar } 2,5 \\ \tau_a &= 0,07 \\ \tau_b &= 0,09 \\ \alpha &= 0,76 (x_0)^{-0,22} \\ \alpha &= 0,0081 \text{ (ketika } x \text{ tidak diketahui)} \\ \omega_0^2 &= 0,161g/Hs \end{aligned}$$

### Response Amplitudo Operator (RAO)

*Response Amplitudo Operator* (RAO) merupakan fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur *offshore*. RAO disebut sebagai *transfer function* karena RAO merupakan alat untuk menstransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk *response* pada suatu struktur. Bentuk umum dari persamaan RAO dalam fungsi frekuensi (Chakrabarty, 1987) adalah sebagai berikut:

$$\text{Respon } (\omega) = (\text{RAO}) \eta (\omega) \quad (5)$$

### Stress Respon Spectra

*Respon spectra* didefinisikan sebagai respon kerapatan pada struktur akibat gelombang, dalam hal ini berupa *energy density spectrum*. Untuk sistem linier, fungsi dari RAO merupakan fungsi kuadrat.

$$S_R(\omega) = [\text{RAO}(\omega)]^2 S(\omega) \quad (6)$$

dimana  $S_R$  : Spektra gelombang ( $\text{mm}^2/\text{sec}$ ),  $S$ : Spektrum gelombang ( $\text{mm}^2/\text{sec}$ ), dan RAO: *response amplitudo operator* ( $\text{N}/\text{mm}^2/\text{mm}$ ), dan  $\omega$ : frekuensi angular ( $\text{rad}/\text{sec}$ ).

Mencari *zero moment* dan *second moment*, semuanya didapat dari perhitungan spektrum tegangan (*stress*)

$$m_0 = \int_0^\infty S_R(\omega) d\omega \quad (7)$$

$$m_2 = \int_0^\infty \omega^2 S_R(\omega) d\omega \quad (8)$$

Mencari *mean zero crossing period* pada tegangan:

$$T_{z\sigma} = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (9)$$

Menentukan nilai *stress range* dan *number of cycle* kegagalan S-N

$$n = \frac{T}{T_{z\sigma}} \quad (10)$$

*Fatigue life*

$$Fl = \frac{1}{D}, \text{ dimana } D \text{ adalah perhitungan untuk satu tahun} \quad (11)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan metode *Spectra Fatigue Analysis*, estimasi umur kelelahan struktur FPSO PT. *Irvine Engineering Dubai* diperlihatkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Umur Kelelahan

No	Uraian	Formula	Hasil
1	Zero Moment	$m_0 = \int_0^m S_r(w) dw$	10712,731 (N/mm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
2	Second Moment	$m_2 = \int_0^m w^2 s(w) dw$	19162,462 (N/mm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
3	Mean Zero Crossing Period (T <sub>z</sub> ) T <sub>zσ</sub>	$= 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}$	4,696 second
4	Stress Significant (SS)	$ss = (4m_0)^{0.5}$	207,005 (N/mm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
5	Number of Cycle (n)	$n = \frac{T}{T_{z0}}$	6716183
6	Number of Cycle Kegagalan (N)	$N = 2 \times 10^6 \left(\frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{eff}}\right)^k$	96302896,9
7	Fatigue per year (D)	$D = \sum \frac{n_1}{N_1}$	0,069
8	Fatigue Life	$\frac{1}{\bar{D}}$	14,33 tahun

## KESIMPULAN

Nilai umur kelelahan struktur FPSO PT. *Irvine Engineering Dubai* dengan menggunakan metode *Spectra Fatigue Analysis* diperoleh sebesar 14,33 tahun.

## DAFTAR PUSTAKA

- API RP2A WSD, 2000, Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform, 21<sup>th</sup> edition, Working Stress Design, American Petroleum Institute.
- Chakrabarti, S.K., 1987, Hydodynamic of Offshore Structures, Computational Mechanic Publications Southampton, Boston, USA.
- Soedjono, J.J., 1989, Diktat Mata kuliah Konstruksi Bangunan Laut I, Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Djatkiko, E.B., 2012, Perilaku Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, ITS Press.