

# ANALISA KELELAHAN STRUKTUR *FPSO HUSKY OIL 370000 BOPD*

Ratnawati Siburian<sup>1)</sup>, Muhammad Zubair Muis Alie<sup>2)</sup>, dan Daeng Paroka<sup>2)</sup>

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

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

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

## Abstrak

FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*) adalah sebuah fasilitas di atas bangunan terapung yang dioperasikan di suatu ladang minyak dan gas bumi lepas pantai yang berfungsi untuk menerima, memproses, menyimpan dan menyalurkan hidrokarbon yang secara permanen ditambatkan di tempatnya beroperasi dan dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain. Adanya pengaruh beban lingkungan (gelombang) yang bersifat acak dapat mempengaruhi perilaku struktur FPSO pada kekuatan dan umur struktur. Analisa *fatigue* merupakan suatu cara yang dapat dilakukan untuk memperkirakan resiko terjadinya kerusakan yang diakibatkan oleh beban berulang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui umur struktur FPSO *units Husky Oil* yang beroperasi di Laut China Selatan. Metode yang digunakan untuk menghitung kelelahan struktur yaitu metode *spectral fatigue analysis* akibat beban siklik yang terjadi selama operasi. Adapun spektrum gelombang yang digunakan adalah spektrum gelombang JONSWAP dengan menggunakan 2,5 sebagai nilai dari  $\gamma$ . 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* dengan menggunakan faktor simson, sehingga siklus tegangan dapat diketahui. Sedangkan untuk siklus kegagalan menggunakan metode *palmgren-miner* berdasarkan kurva S-N. Dari hasil analisa didapatkan umur kelelahan (*fatigue life*) untuk FPSO selama 64,274 Tahun.

**Kata Kunci:** *FPSO (floating production storage and offloading units), spectral fatigue analysis, Kurva S-N, Fatigue Life*

## PENDAHULUAN

Sistem *floating production storage and offloading* (FPSO) telah menjadi metode utama yang digunakan pada daerah produksi minyak dan gas lepas pantai di seluruh dunia termasuk FPSO milik *Husky Oil* (Madura) Ltd. yang beroperasi di Laut Jawa dengan kapasitas sebesar 370.000 BOPD (Husky Oil, 2017). Salah satu hal yang sangat penting dalam analisa suatu struktur bangunan lepas pantai adalah melakukan analisa atas kemampuan struktur tersebut untuk memenuhi tujuan desain yang telah ditetapkan, termasuk kemampuan struktur tidak akan mengalami kegagalan dalam berbagai kondisi kerja (Murdjito, 1996). Analisa umur kelelahan (*fatigue*) merupakan suatu cara yang dapat dilakukan untuk memperkirakan resiko terjadinya kerusakan yang diakibatkan oleh beban lateral. Dengan melakukan analisis *fatigue*, resiko timbulnya kerusakan fatal dapat diperkecil dan suatu bangunan dapat memenuhi target desain yang telah ditetapkan.

## TINJAUAN PUSTAKA

Awalnya, FPSO dibatasi pada daerah dengan beban lingkungan yang ringan. Hal ini memungkinkan penggunaan konversi kapal tanker menjadi FPSO (Paik and Thayamballi, 2007). Proses *fatigue* yang dialami oleh FPSO adalah *fatigue* dengan siklus yang tinggi dimana level tegangan nominal yang berfluktuasi di bawah tegangan leleh dan jumlah siklus yang mengakibatkan kegagalan lebih besar dari  $10^4$ . Kerusakan *fatigue* pada struktur seringkali terjadi pada daerah sambungan las yang diakibatkan adanya konsentrasi tegangan pada daerah diskontinu. Pada formulasi *fatigue S-N Curves American Petroleum Institute Recommended Practice 2A-Working Stress Design* (API RP 2A-WSD) untuk menganalisa umur kelelahan struktur bangunan lepas pantai akibat tegangan kerja yang dialami dapat menggunakan persamaan,

$$N = 2 \times 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)^{-m} \quad (1)$$

dimana N adalah nilai siklus yang diizinkan 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 (35MPa)
X'	11,4 ksi (79 MPa)	3,74	3,33 ksi (23MPa)

Berdasarkan penerapan pada aturan Palmgren - Milner *cumulative damage*, umur kelelahan dari sebuah sambungan yang dilas bergantung pada banyak faktor. 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 (Djarmiko, 2003).

$$D = \sum \frac{n}{N_i} \quad (2)$$

Umur Kelelahan = 1/D

*Spectral fatigue analysis* adalah salah satu metode perhitungan umur kelelahan struktur mempertimbangkan dengan lebih rasional faktor-faktor penyebab kelelahan seperti beban-beban dinamis dan beban gelombang. Spektra JONSWAP berdasarkan percobaan yang dilakukan di *North Sea*. Formula atau persamaan untuk spektrum JONSWAP dapat ditulis sebagai berikut:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[ -1,25 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma \exp \left[ \frac{-(\omega - \omega_0)^2}{z\tau^2 \omega_0^2} \right] \quad (3)$$

Dalam evaluasi kelelahan struktur dengan menggunakan *spectral fatigue analysis*, data yang harus tersedia adalah fungsi perbandingan respon tegangan (RAO) dari tiap-tiap komponen struktur yang akan ditinjau. Bentuk umum dari persamaan RAO dalam fungsi frekuensi (Chakrabarty, 1987) adalah sebagai berikut,

$$Response(\omega) = (RAO) \eta(\omega) \quad (4)$$

*Response spectra* didefinisikan sebagai *response energy density* pada struktur akibat gelombang, dalam hal ini berupa *energy density* spektrum. Persamaan dari respon spektrum adalah (Chakrabarty, 1987) sebagai berikut:

$$S_R(\omega) = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (5)$$

## METODOLOGI

Pada proses ini seluruh data yang dibutuhkan pada pembuatan model akan dilengkapi, data tersebut berupa data ukuran utama struktur FPSO, ukuran konstruksi FPSO dan beban-beban yang bekerja pada struktur FPSO. Dimana struktur FPSO yang akan dijadikan objek penelitian adalah FPSO *Husky Oil*. Pada pemodelan struktur FPSO dengan model 3 dimensi menggunakan program ANSYS sesuai dengan data yang diperoleh. Setelah pemodelan lambung kapal di ansys maka tahap selanjutnya adalah penentuan dan pemilihan spektrum gelombang. Perhitungan menggunakan excel. Setelah perhitungan spektrum dilanjutkan dengan perhitungan *response* struktur dengan menggunakan *output* tegangan dari ANSYS, dan dilanjutkan dengan perhitungan *stress response spectra*. Dengan menggunakan nilai *stress response spectra* ini dapat ditentukan nilai *zero moment* dan *second moment*. Perhitungan umur struktur dilakukan menggunakan metode palmgren-miner berdasarkan kurva S-N.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam menganalisa *spectral fatigue analysis*, dibutuhkan penentuan spektrum gelombang di lokasi struktur yang direncanakan atau dibuat. Respon pada struktur *offshore* akibat gelombang regular dalam tiap-tiap frekuensi, dapat diketahui dengan menggunakan metode *spectra*. Untuk mendapatkan spektrum tegangan (*stress respon spectra*), yang

harus dilakukan terlebih dahulu adalah mencari *response amplitude operator* (RAO) struktur. Namun sebelum menentukan RAO, terlebih dahulu harus diketahui nilai tegangan dari struktur tersebut akibat adanya beban *occurrences*. Setelah mendapatkan nilai dari RAO, selanjutnya menentukan nilai stress respon spectra dengan cara mengkuadratkan nilai dari RAO dan mengalikannya dengan nilai dari spektrum gelombang. Dari hasil *stress respon spectra* maka akan didapatkan *zero momen* ( $m_0$ ) dan *second momen* ( $m_2$ ). Setelah nilai  $m_0$  dan  $m_2$  didapatkan, selanjutnya kita dapat menentukan nilai *mean zero crossing period*. *Zero moment* dan *second momen* yang merupakan luasan dan momen luasan di bawah kurva didapatkan dengan menggunakan faktor simson. Adapun hasil dari perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Umur Kelelahan

No	Uraian	Formula	Hasil
1	Zero Moment	$m_0 = \int_0^m S_r(w)dw$	28561,74928 (N/mm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
2	Second Moment	$m_2 = \int_0^m w^2 s(w)dw$	69340,968 (N/mm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
3	Mean Zero Crossing Period ( $T_z$ )	$T_{z\sigma} = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}$	4,0304 second
4	Stress Significant (SS)	$ss = (4m_0)^{0.5}$	338,0044 (N/mm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
5	Number of Cycle (n)	$n = \frac{T}{T_{z\sigma}}$	156487448,1
6	Number of Cycle Kegagalan (N)	$N = 2 \times 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{eff}} \right)$	10058225478
7	Fatigue per year (D)	$D = \sum_{1}^k \frac{n_1}{N_1}$	0,015558
8	Fatigue Life	$\frac{1}{D}$	64,274 tahun

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi dan analisis yang dilakukan terhadap Struktur FPSO *Husky Oil*, dengan menggunakan metode *Spectra Fatigue Analysis* maka diperoleh umur bangunan selama 64,274 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, America Petroleum Institute.
- Chakrabarti, S.K., 1987, Hydrodynamics of Offshore Structures, Computational Mechanics Publications Southampton, Boston, USA.
- Djatmiko, E.B., 2003, Fatigue Analysis, Kursus Singkat Offshore Structure Design And Modelling, Surabaya.
- Husky Oil (Madura) Ltd., 2017, Madura BD Field Development Feed Project, Jakarta.
- Murdjito, 1996, Diktat Pengantar Bangunan Lepas Pantai, Kursus segitiga Biru ITS–Unhas–Unpati, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.