

ANALISIS SPECTRAL FATIGUE PADA STRUKTUR MONOPOD

Bina Aji Nugraha¹ dan Rildova²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

¹bina.aji@s.itb.ac.id dan ²rildova@ocean.itb.ac.id

ABSTRAK

Analisis *fatigue* digunakan untuk memprediksi *fatigue life* suatu struktur. Dalam studi ini, akan meninjau bagaimana perilaku *fatigue* yang terjadi pada *monopod* dan *braced monopod*. Analisis *fatigue* yang digunakan adalah analisis *spectral fatigue*. Dalam analisis ini memerlukan informasi tegangan struktur akibat gaya gelombang yang berulang/siklik. Perhitungan gaya gelombang perlu dilinearkan untuk analisis dalam domain frekuensi. Analisis dalam domain frekuensi dibutuhkan *transfer function* untuk mengubah spektrum gelombang menjadi spektrum tegangan.

Dalam perhitungan *fatigue damage* diperlukan *endurance cycle* yang diambil dari kurva S-N API RP2A. Selain itu diperlukan informasi *number of cycle* yang didapatkan dari perhitungan momen spektrum tegangan. Selanjutnya dari *fatigue damage* yang terjadi dapat dihitung *fatigue life* struktur.

Hasil analisis *spectral fatigue* didapatkan bahwa *fatigue life* struktur *monopod* adalah sebesar 26.21 tahun untuk perhitungan manual dan 23.96 tahun untuk perhitungan perangkat lunak. *Braced monopod* merupakan *monopod* yang diberi tambahan *brace*. Perhitungan *fatigue life braced monopod* didapatkan sebesar 30.97 tahun. Oleh karena itu disimpulkan bahwa pemberian *brace* pada *monopod* dapat menguatkan struktur.

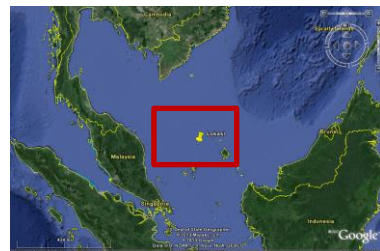
Kata kunci: *fatigue*, *spectral fatigue*, spektrum, *transfer function*

PENDAHULUAN

Analisis *fatigue* pada struktur lepas pantai ini dilakukan pada suatu struktur yang memiliki satu kaki. Dalam menganalisis *fatigue* mengacu pada suatu *code* yaitu API RP2A – WSD. Dalam studi ini, akan meninjau bagaimana perilaku *fatigue* yang terjadi pada *monopod* dan *braced monopod*.

Lokasi struktur lepas pantai yang akan dianalisis adalah di Laut Natuna Barat dengan koordinat UTM dengan *latitude* 4.600 dan

longitude 106.640. Pencitraan satelit lokasi tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Lokasi Struktur
(sumber: google earth 2013)

Gelombang yang terjadi pada lokasi ini adalah gelombang jenuh atau *fully developed sea* sehingga karakteristiknya sesuai dengan spektrum gelombang Pierson-Moskovitz.

DASAR TEORI FATIGUE

Fatigue merupakan suatu fenomena kerusakan struktur akibat beban siklik. Secara sederhana *fatigue* dapat diartikan sebagai waktu dimana struktur mengalami kelelahan menerima beban berulang (*cyclic loading*).

Fatigue life dihitung menggunakan **persamaan 1** berikut:

$$FL = \frac{T}{D} \quad (1)$$

dimana

FL = *fatigue life*

D = *fatigue damage*

T = *time duration* = 1

Kerusakan ada struktur dapat dianalisis menggunakan persamaan dari *Miner's Rule* untuk *spectral fatigue* seperti pada **persamaan 2** berikut:

$$D = \int \frac{n(S)}{N(S)} dS \quad (2)$$

dimana

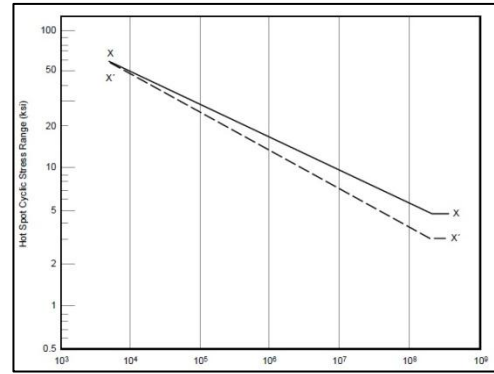
D = *fatigue damage*

$N(S)$ = *endurance cycle* (siklus)

$n(S)$ = *number of cycle* (siklus)

S = *hot spot stress range* (MPa)

Jumlah siklus beban maksimum yang dapat diterima oleh struktur jumlahnya terbatas. Batasan ini adalah *endurance cycle* yang didapatkan dari pendekatan kurva S-N. Kurva S-N yang mengacu pada API RP2A – WSD adalah seperti berikut:



Gambar 2. Kurva S-N API RP2A

Berdasarkan standar dari API RP2A (kriteria desain anjungan lepas pantai yang dikeluarkan API), jumlah siklus gaya gelombang yang mengakibatkan kerusakan pada interval tegangan tertentu (N) dapat didekati menggunakan kurva S-N pada **Gambar 2**. Persamaan kurva S-N pada **Gambar 2** tersebut adalah sebagai berikut :

$$N(S) = A \left(\frac{S}{S_{ref}} \right)^{-m} \quad (3)$$

dimana :

N = *Endurance Cycle* (siklus)

S = *Hot Spot Stress Range* (MPa)

S_{ref} = *Hot Spot Stress Range Reference*
= 79 MPa

A = parameter kurva = 2×10^6

m = kemiringan kurva = 3.74

Persamaan kurva API yang digunakan adalah kurva X' karena pada waktu pengelasan tidak menggunakan *weld control profil*.

Sedangkan *number of cycle* didapatkan dari analisis tegangan yang terjadi pada struktur tersebut.

Dalam menganalisis tegangan menggunakan gaya gelombang Morison yang dilinearkan sehingga dapat bekerja dalam domain frekuensi.

Tegangan didapatkan dari beban gelombang yang diterima struktur. Persamaan spektrum gelombang teoritis yang digunakan adalah seperti pada **persamaan 4** berikut:

$$S(f) = \frac{H_{1/3}^2 T_z}{4\pi^5 (f T_z)^5} \exp\left(-\frac{(f T_z)^4}{\pi}\right) \quad (4)$$

Dimana:

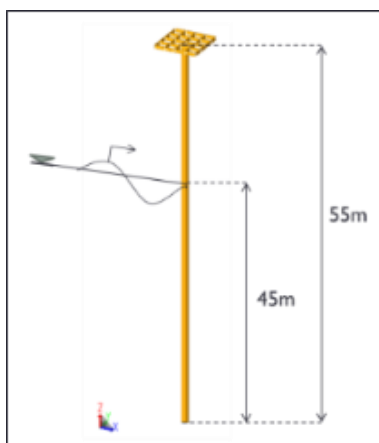
$S(f)$ = Spektrum Gelombang (m^2/Hz)
 $H_{1/3}$ = Tinggi Gelombang Signifikan (m)
 T_z = Periode Gelombang Rata-Rata (detik)
 f = Frekuensi gelombang (Hz)

Suatu fungsi *transfer function* dapat digunakan untuk mendapatkan tegangan dalam domain frekuensi.

ANALISIS *FATIGUE LIFE* STRUKTUR *MONOPOD*

Analisis *spectral fatigue* pada studi ini dilakukan pada struktur *monopod* dan *braced monopod*. Pada struktur *monopod* dilakukan perhitungan secara manual dan menggunakan perangkat lunak. Sedangkan untuk *braced monopod* hanya dilakukan perhitungan menggunakan perangkat lunak.

Struktur *monopod* yang dianalisis adalah seperti tampak pada **Gambar 3** berikut:



Gambar 3. Struktur *Monopod*

Struktur *monopod* memiliki penampang berupa pipa dengan diameter luar 1 m dan tebal 2.54 cm. Pada struktur tersebut dapat dianalisis dalam domain frekuensi menggunakan *transfer function* yang menghubungkan elevasi muka air menjadi tegangan. Perhitungan *transfer function* dari gelombang menjadi tegangan mengacu pada buku Dean & Dalrymple. Persamaan *transfer function* tersebut adalah seperti berikut:

$$[H_{\sigma\eta}] = [H_{M\eta}][H_{\sigma M}] \quad (5)$$

Dimana

$H_{\sigma\eta}$ = *Transfer function* gelombang ke tegangan struktur (MPa/m)
 $H_{M\eta}$ = *Transfer function* gelombang ke momen struktur (kNm/m)
 $H_{\sigma M}$ = *Transfer function* momen ke tegangan (MPa/kNm)

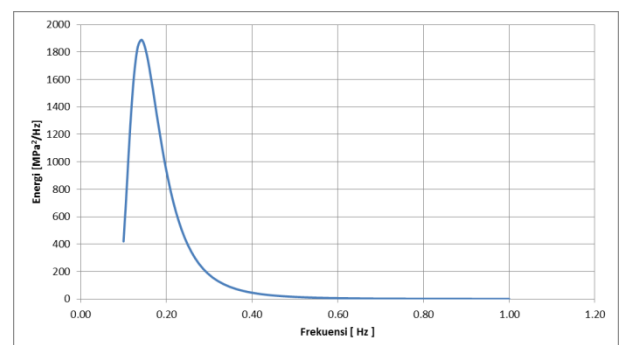
Spektrum tegangan dari struktur *monopod* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$S_{\sigma\sigma} = [H_{\sigma\eta}]^2 S_{\eta\eta} \quad (6)$$

Dimana:

$S_{\sigma\sigma}$ = Spektrum tegangan struktur (MPa^2/Hz)
 $H_{\sigma\eta}$ = *Transfer function* tegangan struktur dari momen struktur (MPa/m)
 $S_{\eta\eta}$ = Spektrum gelombang (m^2/Hz)

Hasil perhitungan spektrum tegangan pada struktur *monopod* adalah seperti berikut:



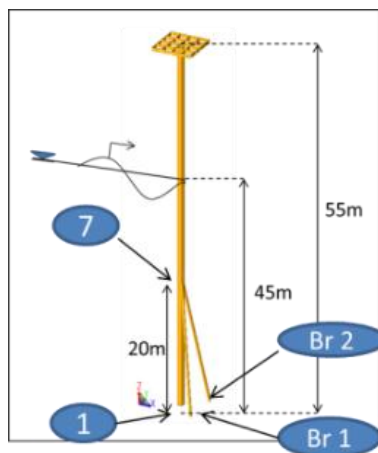
Gambar 4. Spektrum Tegangan *Monopod*

Dari spektrum tegangan struktur didapatkan parameter dalam perhitungan *fatigue damage* dan didapatkan *fatigue life* struktur. Hasil perhitungan *fatigue life* struktur adalah:

Tabel 1. Perhitungan *fatigue Monopod*

Data	Nilai		Satuan
Hs	1.9		m
Tp	7.6		s
m ₀	225.14		MPa ²
m ₂	7.75		
S _{ref}	79		MPa
A	2x10 ⁶		
m	3.74		
	Manual	SACS	Satuan
Damage	0.0381	0.042	
Fatigue Life	26.21	23.96	tahun

Sedangkan struktur *braced monopod* yang dianalisis adalah seperti berikut:



Gambar 5. Struktur *Braced Monopod*

Brace yang digunakan memiliki diameter penampang 40 cm dengan tebal 1 cm. Perhitungan *fatigue life* struktur *braced monopod* menggunakan perangkat lunak dengan metode yang sama dengan analisis pada *monopod*. Hasil perhitungan *fatigue life* yang didapatkan adalah seperti berikut:

Tabel 2. Perhitungan *fatigue Braced Monopod*

Sambungan	Fatigue life	Satuan
1	infinity	tahun
7	30.97	tahun
Br 1	242600.68	tahun
Br 2	242600.68	tahun

Dari Tabel 2 didapatkan bahwa *fatigue life braced monopod* adalah sebesar 30.97 tahun. Struktur *braced monopod* ini menjadi lebih kuat karena adanya *brace* yang menjadi pengaku pada *monopod*.

KESIMPULAN

Yang dapat disimpulkan dari analisis *spectral fatigue* antara lain:

1. Perhitungan manual dapat terjadi perbedaan dengan perhitungan menggunakan perangkat lunak akibat perbedaan dalam melinearkan gaya gelombang.
2. Penambahan *brace* pada *monopod* terbukti dapat menambah kekakuan struktur, sehingga didapatkan *fatigue life braced monopod* lebih besar dibandingkan *monopod*.
3. Besar *fatigue life* kedua struktur melebihi *design life* struktur sebesar 20 tahun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua struktur mampu dibangun dengan *design life* 20 tahun di perairan Laut Natuna Barat.

SARAN

1. Sebaiknya analisis gaya gelombang perlu dibandingkan menggunakan analisis *nonlinear* karena pada beberapa kasus kedua metode ini sangat jauh berbeda.
2. Perlu dianalisis lokasi yang paling efektif dari *brace* pada *braced monopod*.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute.
2002. *Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platform – Working Stress Design (RP2A-WSD)*. Washington DC, USA : API Publishing.
- Barltrop, N.D.P. & A.J. Adams. 1991.
Dynamics of Fixed Marine Structures. East Kilbride, Scotland: Thomson Lithio Ltd.
- Dean, Robert G and Robert A. Dalrymple.
1991. *Water Wave Mechanics for Engineering and Scientists*. River Edge, USA: World Scientific Publishing Co. Pte, Ltd.
- Goda, Yoshimi. 2010. *Random Seas and Design of Maritime Structure 3rd Edition*. Singapura: Fulsland Offset Printing (S) Pte Ltd.