

Analisa Umur Kelelahan (Fatigue Life) Scantling Support Structure Module FSO Cinta Natomas

Anwar Sadat, Mohammad Nurul Misbah

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: mnmisbah@na.its.ac.id

Abstrak, Konstruksi *support module* beserta *scantlingnya* yang tersambung ke geladak FSO haruslah kuat menahan beban-beban yang terjadi, yang pada dasarnya bersifat siklis selama masa operasinya. Oleh karena itu, perancang harus dapat menentukan kekuatan konstruksi tersebut untuk menahan beban siklis yang bisa menimbulkan kelelahan pada *scantling support module*. Dalam tulisan hasil penelitian ini kelelahan *scantling support module* telah dikaji dengan metode deterministik-spektral. Pada pengkajian dengan metode deterministik-spektral penyelesaian dilakukan dengan mengaplikasikan persamaan kelelahan terangkai. Analisa dimulai dengan penentuan beban dinamis lingkungan serta penentuan tegangan lokal pada semua tingkat beban siklis. Penelitian dilakukan pada *scantling support structure accommodation module* FSO Cinta Natomas. Beban siklis dari gelombang dan angin diakumulasi dari beban terendah sampai dengan tertinggi selama satu tahun. Hasil analisa dalam penelitian menunjukkan kontribusi beban terhadap umur kelelahan *scantling support module* FSO Cinta Natomas berturut-turut dari yang terbesar adalah disebabkan oleh beban angin yakni sebesar 89.05846272% dengan beban maksimum 79.088MPa, beban gelombang sebesar 1.04644E-5 % dengan beban maksimum 0.12MPa dan beban konstruksi sebesar 10.94152681% dengan beban maksimum 145.32 Mpa. Umur kelelahan dari *scantling support module* FSO Cinta Natomas adalah 141.783 tahun atau 3.635 kali umur operasinya.

Kata Kunci— *scantling support module*, kelelahan, FSO

I. PENDAHULUAN

Permasalahan yang selalu ada pada bangunan lepas pantai adalah kerusakan yang dapat menyebabkan struktur tersebut gagal. Kerusakan bangunan laut terutama terjadi akibat kelelahan (fatigue), baik pada komponen struktur utama maupun struktur sekunder dan tersier [1]. Bangunan lepas pantai cenderung mengalami kelelahan karena beban lingkungan yang bekerja didominasi oleh gelombang yang bersifat siklis, sehingga kelelahan adalah penyebab utama kerusakan pada bangunan lepas pantai, di mana struktur merespon secara dinamis gelombang acak serta beban angin [2]. Disamping itu faktor-faktor operasi lain pada tingkat tertentu juga dapat menambah beban siklis ini, sehingga

keadaan struktur bertambah kritis. Oleh sebab itu analisis kelelahan pada bangunan lepas pantai sangat perlu untuk dilakukan.

Tulisan ini melaporkan hasil analisa perhitungan kelelahan dengan beban gelombang, beban angin dan beban konstruksi struktur sebagai beban yang berpengaruh yang menyebabkan tegangan pada struktur. Beban gelombang dan beban angin yang terjadi adalah beban selama umur operasi.

II. METODE

A. Tahap Telaah

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur dan pengumpulan data meliputi pencarian serta mempelajari buku, jurnal, artikel dan sebagainya. Literatur tersebut digunakan sebagai acuan ataupun referensi penelitian ini.

Selanjutnya dilakukan pencarian mengenai data-data FSO Cinta Natomas sebagai objek tugas akhir dan data-data lingkungan yang diperlukan. Data FSO berupa gambar-gambar konstruksi, data material, didapatkan dengan langsung mengunjungi lokasi FSO yaitu di laut Jawa yang masuk dalam wilayah perairan Tuban. Sedangkan data lingkungan berupa data gelombang dan data angin diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Maritim Perak II Surabaya.

B. Tahap Pengolahan Data (Pemodelan dan Perhitungan)

Langkah berikutnya adalah melakukan pengolahan data dengan melakukan perhitungan gaya-gaya yang berpengaruh terhadap FSO Cinta Natomas antara lain berat struktur konstruksi yang ditumpu oleh *module*, perhitungan gaya angin dan gelombang.

Pemodelan lambung FSO dilakukan berdasarkan data yang ada agar diketahui bentuk visual dari FSO. Pemodelan ini dilakukan untuk mengetahui olah gerak FSO akibat gelombang yang terjadi, yaitu tiga mode gerakan translasional (*surge, sway, heave*) dan tiga mode gerakan rotasional (*roll, pitch, yaw*) [3].

Setelah pemodelan selesai, selanjutnya dilakukan *running model*. *Running* dilakukan untuk masing-masing data

gelombang bulanan selama satu tahun. Arah gelombang (*heading*) diambil 180° karena sistem tambat FSO menggunakan *single buoy mooring* sehingga FSO akan berputar mengikuti arah angin dan arus. Karena FSO ini ditambat maka kecepatan FSO adalah 0 knot.

Output yang dihasilkan dari olah gerak FSO ini adalah percepatan gerakan FSO dari masing-masing gerakan *heaving*, *pitching* dan *rolling*. Di mana percepatan dari masing-masing gerakan ini digunakan untuk menghitung gaya akibat gelombang.

Sementara itu, pemodelan struktur *support module* juga dilakukan untuk mengetahui berapa tegangan yang dihasilkan dari gaya-gaya tersebut.

Setelah mendapatkan respon pada struktur penyangga / *structure support module* yaitu berupa tegangan, maka selanjutnya dilakukan perhitungan analisis kelelahan (*fatigue analysis*) struktur untuk mendapatkan umur kelelahan akibat tegangan yang terjadi pada struktur tersebut dengan menggunakan formula *Palmgren-Miner* [4] berikut :

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} \dots\dots\dots(1)$$

- D = Rasio kerusakan kumulatif.
- m = Total (Σ) dari interval-interval rentang tegangan.
- n_i = Jumlah *cycle* kolom interval rentang tegangan *i* dengan harga S_i yang sebenarnya terjadi, dari rentang distribusi tegangan jangka panjang akibat beban eksternal.
- N_i = Jumlah *cycle* rentang tegangan dengan harga S_i yang menyebabkan kegagalan. Harga besaran ini dapat diperoleh dari kurva S-N [5].

Sedangkan untuk menghitung nilai rasio kerusakan kumulatif akibat semua beban, dilakukan dengan menjumlahkan nilai rasio kerusakan masing-masing beban.

$$D_{tot} = D_{wave} + D_{wind} + D_{cons} \dots\dots\dots(2)$$

- Dimana D_{tot} = rasio kerusakan kumulatif (total)
- D_{wave} = rasio kerusakan akibat gelombang
- D_{wind} = rasio kerusakan akibat angin
- D_{cons} = rasio kerusakan akibat beban konstruksi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gaya Gelombang

Dari gambar 1 di bawah terlihat bahwa gaya gelombang terbesar ada pada bulan ke-delapan dan sembilan yaitu bulan Agustus dan September, hal ini dikarenakan pada bulan tersebut terjadi gelombang yang paling tinggi karena pada musim ini adalah musim kemarau di mana biasanya angin bertiup kencang sehingga menyebabkan gelombang tinggi.



Gambar 1. Gaya gelombang sepanjang tahun 2010

Dari hasil perhitungan gaya yang ditimbulkan akibat gelombang, dilakukan perhitungan rasio kumulatif kerusakan dengan menggunakan formula (1) yang hasilnya disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 1.
Hasil perhitungan rasio kumulatif kerusakan akibat beban gelombang

Bulan	Hs (m)	n_i	S_i (Mpa)	Ni	n_i/N_i
Januari	1.75	555032	0.04431	3.14E+16	1.77E-11
Februari	1.75	555032	0.04431	3.14E+16	1.77E-11
Maret	1	734278	0.01482	8.38E+17	8.76E-13
April	0.75	849836	0	0	0
Mei	1	734278	0.01482	8.38E+17	8.76E-13
Juni	1.6	581166	0.02946	1.07E+17	5.44E-12
Juli	2	519439	0.07421	6.68E+15	7.78E-11
Agustus	2.25	489057	0.1195	1.60E+15	3.06E-10
September	2.25	489057	0.12	1.58E+15	3.10E-10
Oktober	1.3	644776	0.01482	8.38E+17	7.69E-13
November	1.1	700541	0.01482	8.38E+17	8.36E-13
Desember	1	734278	0.01482	8.38E+17	8.76E-13
				D	7.38E-10

Dari Tabel 1. di atas dapat diketahui rasio kerusakan kumulatif akibat beban gelombang adalah sebesar $7,3806E-10$. Dengan besar n_i merupakan jumlah kejadian gelombang tiap-tiap bulan.

B. Gaya Angin

Gambar 2 menyajikan gaya angin terbesar ada pada bulan ke-satu dan delapan yaitu bulan Januari dan Agustus, hal ini dikarenakan pada bulan tersebut terjadi kecepatan angin yang paling tinggi karena pada bulan ini adalah musim kemarau di mana biasanya angin bertiup kencang.

Dari hasil perhitungan gaya yang ditimbulkan akibat akibat angin, dilakukan perhitungan rasio kumulatif kerusakan menggunakan formula (1) di mana hasilnya bisa dilihat dalam Tabel 2.

Dari Tabel 2 di atas dapat diketahui jumlah rasio kerusakan kumulatif akibat beban angin (D_{wind}) sebesar 0.0062813 .



Gambar 2. Gaya angin sepanjang tahun 2010

Tabel 2.

Hasil perhitungan rasio kumulatif kerusakan akibat beban angin

Bulan	v (m/s)	ni	Si (Mpa)	Ni	ni/Ni
Januari	5.659	27580	79.088	11037250	0.0016659
Februari	2.058	2674	10.480	2.372E+09	1.13E-06
Maret	1.801	2048	8.006	5.319E+09	3.85E-07
April	1.801	2048	8.006	5.319E+09	3.85E-07
Mei	4.373	9630	27.599	129862156	7.42E-05
Juni	6.431	22792	65.400	39038165	0.0005838
Juli	6.688	22792	65.400	39038165	0.0005838
Agustus	6.945	27580	79.088	11037250	0.0016659
September	3.858	8206	23.433	212167554	3.87E-05
Oktober	2.058	2674	10.480	2.372E+09	1.13E-06
November	1.543	1368	5.878	1.344E+10	1.02E-07
Desember	1.286	950	4.088	3.997E+10	2.38E-08
			<i>D</i>		0.0062813

C. Pengaruh Beban Statis terhadap Kelelahan

Tabel 3.

Pengaruh beban rata-rata (statis) terhadap fatigue pada beban gelombang

Bulan	Hs (m)	ni	σa (ksi)	σm (ksi)	Ni	ni/Ni
Januari	1.75	555032	0.00642	21.0714	10000000000	5.55E-05
Februari	1.75	555032	0.00642	21.0714	10000000000	5.55E-05
Maret	1	734278	0.00215	21.0714	10000000000	7.34E-05
April	0.75	849836	0	21.0714	10000000000	8.50E-05
Mei	1	734278	0.00215	21.0714	10000000000	7.34E-05
Juni	1.6	581166	0.00427	21.0714	10000000000	5.81E-05
Juli	2	519439	0.01076	21.0714	10000000000	5.19E-05
Agustus	2.25	489057	0.01733	21.0714	10000000000	4.89E-05
September	2.25	489057	0.0174	21.0714	10000000000	4.89E-05
Oktober	1.3	644776	0.00215	21.0714	10000000000	6.45E-05
November	1.1	700541	0.00215	21.0714	10000000000	7.01E-05
Desember	1	734278	0.00215	21.0714	10000000000	7.34E-05
				<i>Ds(wave)</i>		0.0007587

Dari tabel 3 dan 4 di atas nilai total *D* akibat pengaruh beban rata-rata (statis) terhadap fatigue adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 D_{kons} &= Ds(wave) + Ds(wind) \\
 &= 0.000758677 + 1.30342E-05 \\
 &= 7,71711E-4
 \end{aligned}$$

Tabel 4.

Pengaruh beban rata-rata (statis) terhadap fatigue pada beban angin

Bulan	v (m/s)	ni	σa (ksi)	σm (ksi)	Ni	ni/Ni
Januari	5.659	27580	11.4678	21.0714	1E+10	2.76E-06
Februari	2.058	2674	1.5196	21.0714	1E+10	2.67E-07
Maret	1.801	2048	1.16093	21.0714	1E+10	2.05E-07
April	1.801	2048	1.16093	21.0714	1E+10	2.05E-07
Mei	4.373	9630	4.00186	21.0714	1E+10	9.63E-07
Juni	6.431	22792	9.483	21.0714	1E+10	2.28E-06
Juli	6.688	22792	9.483	21.0714	1E+10	2.28E-06
Agustus	6.945	27580	11.4678	21.0714	1E+10	2.76E-06
September	3.858	8206	3.39779	21.0714	1E+10	8.21E-07
Oktober	2.058	2674	1.5196	21.0714	1E+10	2.67E-07
November	1.543	1368	0.8523	21.0714	1E+10	1.37E-07
Desember	1.286	950	0.59273	21.0714	1E+10	9.50E-08
					<i>Ds(wind)</i>	1.30E-05

D. Analisa AkhirUmur Kelelahan

Setelah didapat tiga rasio kerusakan (*D*) akibat beban gelombang, beban angin dan beban konstruksi, maka tiga nilai rasio kerusakan tersebut dijumlahkan untuk mendapatkan nilai rasio kerusakan kumulatif total seperti pada Persamaan (2) berikut :

Nilai dari *D_{total}* adalah:

$$\begin{aligned}
 \sum D &= D_{wave} + D_{wind} + D_{kons} \\
 &= 0.00000000073806 + 0.006281335 + 0.000771711 \\
 &= 0.007053047
 \end{aligned}$$

Nilai kelelahan didapatkan dengan formulasi berikut [4]:

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai kelelahan} &= 1/D \\
 &= 1 / 0.007053047 \\
 &= 141.783 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

FSO Cinta Natomas dibangun tahun 1971 dan mulai beroperasi tahun 1973, jadi sisa kelelahan atau umur lelah FSO dari sekarang (tahun 2012) adalah 102.783 tahun atau sampai tahun 2114.

Service life dari FSO Cinta Natomas sampai sekarang adalah 39 tahun. Dengan umur kelelahan 141.783 tahun, maka perhitungan nilai kelelahan (*fatigue*) ini memiliki nilai *safety factor (SF)* sebesar:

$$\frac{141.783}{39} = 3.635$$

Jadi nilai *safety factor (SF)* dari struktur *scantling support structure module* FSO Cinta Natomas adalah 3,635 dan telah memenuhi kriteria *safety factor* yang disyaratkan DNV [6], yakni sebesar 3,0.

E. Kontribusi Beban terhadap Umur Kelelahan

Dari hasil analisis, dapat diketahui besarnya pengaruh beban gelombang dan beban angin terhadap umur kelelahan dari *scantling support structure module* FSO Cinta Natomas. Besarnya pengaruh beban-beban tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5.
Kontribusi beban terhadap kelelahan

Beban	D	%
Gelombang	7.38E-10	1.05E-05
Angin	0.0062813	89.058463
Beban konstruksi	7.72E-04	10.941527
Total	0.0053872	100

Dari table 5. di atas, terlihat beban angin memiliki pengaruh paling besar terhadap umur kelelahan pada *scantling support structure module* FSO Cinta Natomas yakni sebesar 89.05846272%. Sedangkan pengaruh yang disebabkan oleh beban gelombang sebesar 1.04644E-5 % dan beban konstruksi sebesar 10.94152681% terhadap umur kelelahan pada *scantling support structure module* FSO Cinta Natomas.

Pada penelitian sebelumnya [7], beban terbesar terjadi karena gelombang. sedangkan pada penelitian ini, beban terbesar karena angin karena penelitian kali ini mengambil lokasi perairan laut Jawa pinggir jadi gelombang yang terjadi tidak terlalu besar.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian pada *scantling support structure module* FSO Cinta Natomas maka dapat diambil kesimpulan bahwa beban yang berpengaruh pada analisis umur kelelahan *scantling support structure module* FSO Cinta Natomas adalah beban gelombang, beban angin, dan beban berat struktur sendiri. Di mana beban angin memiliki pengaruh paling besar daripada beban gelombang dan beban strukturnya.

Letak lokasi yang paling kritis adalah pada daerah sambungan antara kaki *module* dengan *module support*. Sehingga lokasi ini perlu mendapat perhatian atau inspeksi secara berkala, atau bisa ditambahkan *bracket* untuk mengurangi tegangan yang terjadi pada daerah tersebut.

Dengan siklus beban yang terjadi selama masa opeasinya, FSO Cinta Natomas ini memiliki umur kelelahan *scantling support structures accommodation module* selama 141.783 tahun atau 3.635 kali umur operasinya.

Nilai kelelahan dari struktur *scantling support structure module* FSO Cinta Natomas relatif tinggi, atau struktur bisa dikatakan sangat kuat. Hal ini dikarenakan : struktur tersebut berada di atas geladak sehingga bisa dikatakan hampir tidak terkena pengaruh korosi dari air laut, konstruksi struktur yang kuat, dengan diameter pilar 165.2 mm dan ketebalan 11 mm, beban gelombang dan angin yang terjadi di perairan jawa di mana FSO ini beroperasi juga tidak terlalu tinggi karena lokasi FSO ini berada di perairan laut Jawa wilayah dangkal sekitar 40m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Duta Marine sebagai perusahaan yang mengoperasikan FSO Cinta Natomas serta BMKG Maritim Perak II Surabaya yang telah memberikan bantuan berupa data-data yang diperlukan dalam pengerjaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E.B. Djatmiko, "Analisis Kelelahan Struktur Bangunan Laut", Kursus Singkat Offshore Structure Design And Modelling, Surabaya, (2003).
- [2] P.H. Wirsching, Y.N. Chen, "Considerations of Probability-Based Fatigue Design for Marine Structure", SNAME, One World Trade Center Suite 1369, New York, (1988).
- [3] R. Bhattacharyya, "Dynamic of Marine Vehicles". John Wiley and Sons Inc., New York, (1978).
- [4] H. Boonstra, P. Gelder, N. Shabakhty, "Reliability Analysis of Jack-Up Platforms Based On Fatigue Degradation", Proceedings of OMAE'02, Norway, (2002).
- [5] DnV Recommended Practice C203, "Fatigue Design of Offshore Steel Structures", Norway, (2008).
- [6] DnV Recommended Practice C205, "Environmental Condition and Environmental Loads", Norway, (2007).
- [7] W. A. Kurniawan. "Analisis Keandalan Scantling Support Structure System Gas Processing Module FPSO Belanak Terhadap Beban Kelelahan", Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya, (2010).