

Analisa Operabilitas serta Evaluasi Aspek *Slamming* dan *Greenwater* pada *Tugboat* - Studi Kasus Towing FSO *Arco Ardjuna* dari *Jurong Port* menuju *Ardjuna Marine Terminal*

Rainhart Gabriel, Eko B. Djatmiko, dan Mas Murtedjo

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: ebdjtmiko@oe.its.ac.id

Abstrak— AHTS (*Anchor Handling Tug Supply*) *MP Premier* adalah kapal penarik yang digunakan dalam operasi *towing* FSO *Arco Ardjuna* dari *jurong port* menuju *ardjuna marine terminal*. Penelitian ini menganalisa gerakan AHTS *MP Premier* saat operasi *towing* dalam ranah *time domain*, selain itu Penelitian ini meninjau kemungkinan terjadinya *slamming* dan *greenwater* dengan melakukan analisa respon spektra relatif vertikal haluan AHTS *MP Premier* berdasarkan RAO *heave* dan *pitch*. Aspek-aspek tersebut dibandingkan dengan kriteria *seakeeping* untuk mengetahui kemampuan AHTS dalam melakukan operasi *towing*. Semua analisa dilakukan dalam keadaan melaju dengan kecepatan 5 knot untuk sejumlah arah propagasi gelombang. Didapat Gerakan rata-rata *roll* terbesar 4,53 deg pada kondisi 85% *fuel tank* dengan arah gelombang 120°, nilai rata-rata *pitch* terbesar 3,42 deg pada kondisi 85% *fuel tank* dengan arah datang gelombang 180°, nilai signifikan percepatan *heave* terbesar 1,98 m/s² pada kondisi 85% *fuel tank* dengan arah datang gelombang 180 dan nilai signifikan kecepatan *heave* terbesar 2,36 m/s pada kondisi 85% *fuel tank* dengan arah datang gelombang 180°. sedangkan *probability slamming* terbesar 0,01259 pada kondisi 85% *fuel tank* dengan arah datang gelombang 180° dan *probability greenwater* terbesar 0,01741 pada kondisi *full load* dengan *heading* 180°. Berdasarkan aspek tersebut didapat operabilitas AHTS *MP Premier* saat *pross towing* sebesar 98,99% dengan batas gelombang *general criteria* sebesar 4m.

Kata Kunci— AHTS, *greenwater*, *operability*, *slamming*, *towing*

I. PENDAHULUAN

FSO *Arco Ardjuna* adalah wahana apung yang dimiliki oleh PT. Pertamina Hulu Energi Offshore Northwest Jave (PHE ONWJ) sebagai fasilitas penerima, penyimpanan, dan penyalur *crude oil* untuk mendukung proses produksi pada *Ardjuna Marine Terminal*. Sejarah perkembangan FSO tercatat bahwa FSO *Arco Ardjuna* merupakan salah satu FSO tertua yang beroperasi mulai tahun 1978^[1]. Kondisi saat ini, FSO *Arco Ardjuna* sedang dilakukan reparasi *dry docking* di *Jurong*, *Singapore*. Setelah proses *docking* selesai, FSO *Arco Ardjuna* akan kembali dibawa menuju *ardjuna marine terminal* dengan proses *towing*. Proses *towing* dilakukan dikarenakan FSO *Arco Ardjuna* adalah struktur yang tidak memiliki sistem penggerak.

Proses *towing* FSO *Arco Ardjuna* dibantu menggunakan AHTS *MP Premier*. Rute pelayaran *towing* FSO *Arco Ardjuna* akan melewati dua perairan yaitu Laut Cina Selatan dan Laut

Jawa dengan jarak tempuh 808 nm. Dengan kecepatan 5 knot, *towing* berlangsung selama 161 jam.



Gambar 1. Rute Pelayaran *towing* FSO *Arco Ardjuna* (Sumber PHE ONWJ, 2014)

Peluang keberhasilan *towing* teletak pada kemampuan AHTS *MP Premier* sebagai struktur yang membawa FSO *Arco Ardjuna* hingga tujuan. Selama proses *towing* berlangsung gerakan kapal akan dipengaruhi oleh keadaan lingkungan dan *towing line*. Selain itu, tekanan yang terjadi saat terhempasnya haluan atau yang disebut *slamming* dan masuknya gelombang laut ke bagian atas haluan atau yang disebut *greenwater* selama *towing* berlangsung mungkin akan terjadi dan menghambat operasi *towing*.

Analisa AHTS *MP Premier* pada penelitian ini didasarkan pada aspek-aspek gerakan, *probability slamming*, dan *probability greenwater*. Aspek-aspek tersebut akan ditinjau dengan kriteria *seakeeping* yang dipilih untuk mengetahui batas kemampuan struktur untuk beroperasi. Batas-batas kemampuan tersebut akan digunakan pada penelitian ini dalam menentukan operabilitas AHTS *MP Premier*, sehingga Penelitian ini memberikan informasi peluang keberhasilan AHTS *MP Premier* saat melakukan operasi *towing* FSO *Arco Ardjuna* dari *Jurong Port* menuju *Ardjuna Marine Terminal*.

II. URAIAN PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam analisa respon gerakan dibantu dengan simulasi *time domain* sedangkan untuk analisa

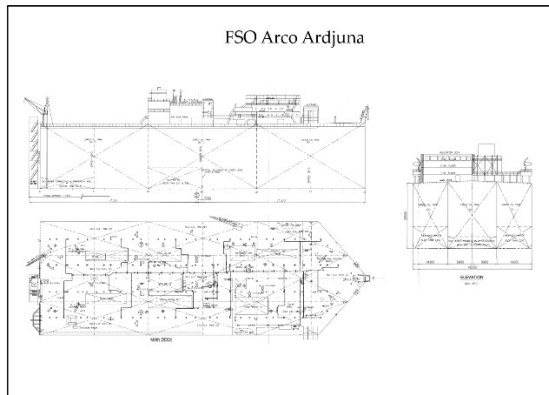
greenwater dan slamming menggunakan Spektra Respon. Adapun langkah-langkah sebagai berikut:

A. Mengumpulkan data

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data FSO *Arco Ardjuna* milik PT. PHE ONWJ dan AHTS *MP Premier* milik PT. *Marcopolo Shipyard*. Untuk kondisi lingkungan pelayaran menggunakan Kondisi 10-Tahunan^[2] dimana Laut Cina Selatan memiliki Hs 4,6 m dengan Tp 8,4 s sedangkan Laut Jawa memiliki Hs 3,89 dengan Tp 7,97 s. Untuk Konfigurasi towing, AHTS berada tepat di depan FSO *Arco Ardjuna*.

Tabel 1. Pricipal Dimension FSO *Arco Ardjuna* ^[3]

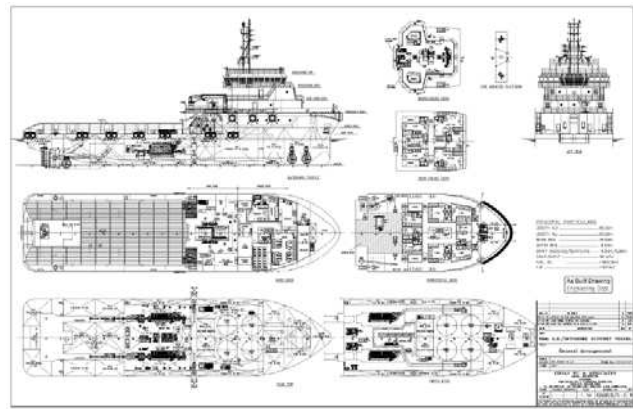
Designation	Units	Maximum Operating Draft
Length, LBP	m	142,6
Breadth, B	m	48,2
Depth, D	m	26,5
Draft to Baseline, T	m	24
Displacement	tonne	153.202
Waterplan Area	m ²	6.239
Cb		0,9
LCB from zero pt.	m	-2,78
LCF from zero pt.	m	-2,79
KB	m	12,02



Gambar 2. General Arrangement FSO *Arco Ardjuna*

Tabel 2. Principal Dimension AHTS *MP Premier* ^[4]

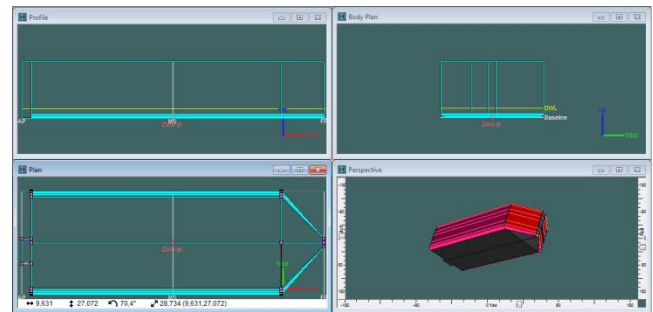
Designation	Units	Maximum Operating Draft
Length, LWL	m	63,5
Breadth, B	m	16
Depth, D	m	6,5
Draft to Baseline, T	m	5,5
Displacement	tonne	3991,95
Waterplan Area	m ²	907
Cb		0,698
KB	m	3,033
LCB from zero pt.	m	-1,423
LCF from zero pt.	m	-4,771



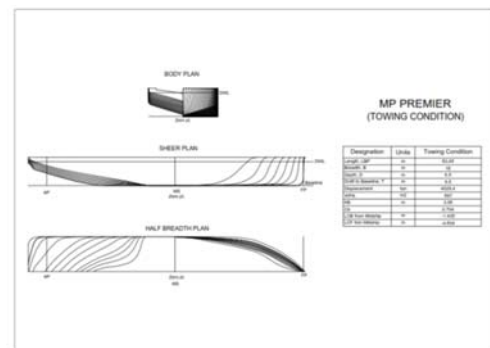
Gambar 3. General Arrangement AHTS *MP Premier*

B. Pemodelan Struktur

Pemodelan kedua struktur dibantu dengan perangkat lunak dan mengacu pada data ukuran utama kapal pada tabel 1 dan tabel 2. Pemodelan kedua struktur dibantu dengan perangkat lunak untuk mendapat *linesplan*.



Gambar 4. Pemodelan FSO *Arco Ardjuna*



Gambar 5. Lines plan AHTS *MP Premier*

C. Validasi Model

Linesplan yang didapat dari pemodelan perlu divalidasi terlebih dulu untuk mengetahui apakah model yang dibuat sudah menyerupai data sebenarnya. Validasi dilakukan pada masing-masing model. Hasil koreksi pada validasi tidak boleh kurang dari 2%. Pada analisa kedua model sudah sesuai dengan data sebenarnya sehingga dapat digunakan pada analisa selanjutnya.

Tabel 3. Validasi FSO Arco kondisi towing load condition.

Designation	Units	Data	Model	Koreksi (%)
Length, LBP	m	142,6	142,6	0,00
Breadth, B	m	48,2	48,2	0,00
Draft to Baseline, T	m	4,4	4,4	0,00
Displacement	tonne	27975	27602	1,33
Waterplan Area	m ²	6239	6255	0,26
Cb		0,896	0,890	0,67
LCB from zero pt.	m	-2,69	-2,74	1,52
LCF from zero pt.	m	-2,801	-2,808	0,25
KB	m	2,243	2,235	0,36

Tabel 4. Validasi AHTS MP Premier full load condition

Designation	Units	Data	model	Koreksi (%)
Length, LWL	m	63,5	63,45	0,08
Breadth, B	m	16	16	0,00
Depth, D	m	6,5	6,5	0,00
Draft to Baseline	m	5,5	5,5	0,00
Displacement	tonne	3991	4029	0,94
Waterplan Area	m ²	907	897	1,08
Cb		0,69	0,704	0,86
KB	m	3,03	3,06	0,89
LCB from zero pt.	m	-1,42	-1,43	0,84
LCF from zero pt.	m	-4,77	-4,83	1,32

D. Analisa Gerakan Relatif Vertikal Haluan

Gerakan yang ditinjau pada analisa gerakan AHTS MP Premier saat towing memiliki titik acuan yang berbeda pada analisa greenwater dan slamming. Oleh karena itu, dilakukan analisa gerakan relatif vertikal haluan untuk bisa menganalisa kemungkinan terjadinya slamming dan greenwater. Gerakan relatif vertikal haluan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$(Z_{br})_a = \sqrt{(Z_b)_a^2 + \zeta_a^2 + 2(Z_b)_a \xi \theta_a \cos(k_e - \epsilon_b)} \quad (1)$$

Dimana:

(Zbr)a = Amplitudo gerak haluan relatif

(Zb)a = Amplitudo gerak titik B

ζa = Amplitudo gelombang

ke = Angka gelombang efektif

εo = Sudut fase gerakan haluan vertikal

E. Analisa Respon Gerakan

Respon gerakan pada analisa gerakan saat towing dianalisa dalam ranah time domain selama 10800 s sesuai dengan ketentuan yang diberikan DNV OS E301^[5] sedangkan pada probability slamming dan greenwater menggunakan spektrum respon. Walaupun begitu prinsip yang digunakan dalam melakukan analisa gerakan pada gelombang acak tetap sama yaitu perkalian antara RAO kuadrat baik reguler maupun relatif dengan spektrum gelombang, seperti pada persamaan (2)

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

Dimana:

Sr (ω) = Spektrum respon

RAO = Response Amplitude Operator

S(ω) = Spektrum Gelombang

Jika Spektra Respons telah didapat maka nilai-nilai statistik gerakan dapat dihitung dengan formulasi matematis. Dalam ranah time domain pengolahan nilai m₀ sebagai berikut:

$$m_0 = \frac{\sum_{n=1}^N (\zeta_n - \zeta)^2}{N} \quad (3)$$

Dimana:

ζn = elevasi ke-n

N = jumlah sampel

Sedangkan pengolahan nilai m₀, m₂, dan m₄, dengan analisa spektrum respon menggunakan persamaan sebagai berikut^[6]:

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_j(\omega) d\omega \quad (4)$$

$$m_2 = \int_0^{\infty} \omega^2 S(\omega) d\omega \quad (5)$$

$$m_4 = \int_0^{\infty} \omega^4 S(\omega) d\omega \quad (6)$$

m₀ sebagai luasan di bawah kurva pada spektrum. Berdasarkan nilai tersebut dapat diolah dengan metode statistiik guna mendapat nilai rata-rata dan nilai signifikan amplitudo dengan persamaan:

$$H_s = 2 (m_0)^{0,5} \quad (7)$$

$$H_{ave} = 1,25 (m_0)^{0,5} \quad (8)$$

F. Perhitungan Probability Slamming

Persamaan peluang terjadinya slamming menggunakan respon gerak relatif vertikal haluan pada persamaan (9):

$$p \{ \ddot{z}_R \geq f^1(1) \} = e^{-\frac{(f^1(1))^2}{2m_0}} \quad (9)$$

G. Perhitungan Probability Greenwater

Persamaan peluang terjadinya greenwater juga menggunakan respon gerak relatif vertikal haluan dengan persamaa (10)^[7] sebagai berikut:

$$Pr(slam) = Pr(Z_{br})_T_b \text{ dan } V_{br} > V_{th}) = \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{0vbr}}\right) \quad (10)$$

H. Operabilitas

Operabilitas dapat diartikan sebagai gambaran dari kemampuan struktur dalam beroperasi dengan membandingkan peluang struktur bekerja dengan data gelombang daerah operasi. Kemampuan struktur beroperasi ditentukan berdasarkan aspek-aspek menurut para ahli yang dirasa cukup mewakili dalam menjaga suatu struktur agar beroperasi baik.operablitas menggunakan persamaan (11):

$$Operabilitas = \frac{TOH-WOW}{TOH} X 100\% \quad (11)$$

Dimana:

TOH = Time on hire

WOW = Waiting on weathe

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisa Respon Gerakan di Gelombang Reguler

Analisa gerakan yang ditinjau dalam keadaan *free floating* pada gelombang *reguler* memiliki kecepatan 5 knot dengan arah datang gelombang 180°, 150°, dan 120°. FSO *Arco Ardjuna* memiliki satu *loading condition* yaitu *towing load* dengan sarat 4,4 m dan AHTS *MP Premier* memiliki tiga *loading condition* yaitu *full load* dengan sarat 5,5, 85% *fuel tank* dengan sarat 5,41 m dan 69% *fuel tank* dengan sarat 5,3 m. Hasil maksimum pada tiap gerakan dan kondisi masing-masing terdapat pada tabel 5 hingga tabel 8.

Tabel 5. RAO FSO *Arco Ardjuna* *towing load condition*

Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum			Max
		120 deg	150 deg	180 deg	
Heave	m/m	0,970	0,938	0,896	0,970
Roll	deg/m	5,786	3,340	0,000	5,786
Pitch	deg/m	0,576	0,829	0,965	0,965

Tabel 6. RAO AHTS *MP Premier* *full load condition*

Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum			Max
		120 deg	150 deg	180 deg	
Heave	m/m	0,997	1,063	1,402	1,402
Roll	deg/m	7,311	5,055	0,023	7,311
Pitch	deg/m	2,516	2,923	3,110	3,110

Tabel 7. RAO AHTS *MP Premier* 85% *fuel tank*

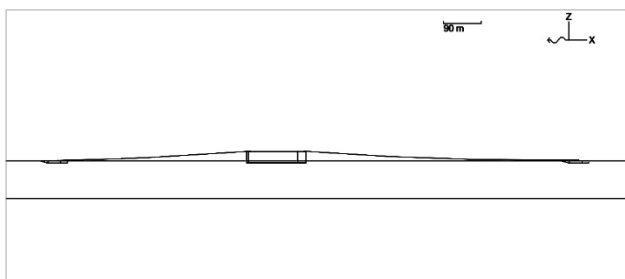
Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum			Max
		120 deg	150 deg	180 deg	
Heave	m/m	0,997	1,073	1,420	1,420
Roll	deg/m	7,224	5,151	0,006	7,224
Pitch	deg/m	2,506	2,905	3,105	3,105

Tabel 8. RAO AHTS *MP Premier* 69% *fuel tank*

Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum			Max
		120 deg	150 deg	180 deg	
Heave	m/m	0,999	1,083	1,435	1,435
Roll	deg/m	7,857	5,204	0,003	7,857
Pitch	deg/m	2,501	2,821	3,071	3,071

B. Konfigurasi Towing

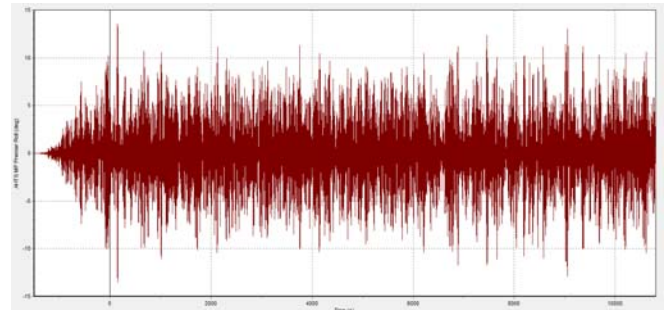
Analisa dilanjutkan dengan memodelkan operasi *towing*. Berdasarkan *report* yang dimiliki oleh PHE ONWJ^[8], Posisi AHTS *MP Premier* berada di depan FSO *Arco Ardjuna* terhubung dengan bantuan *towing line* dan tepat di belakang FSO *Arco Ardjuna* terdapat *escort tug* untuk menjaga kecepatan dari operasi seperti pada gambar 6.



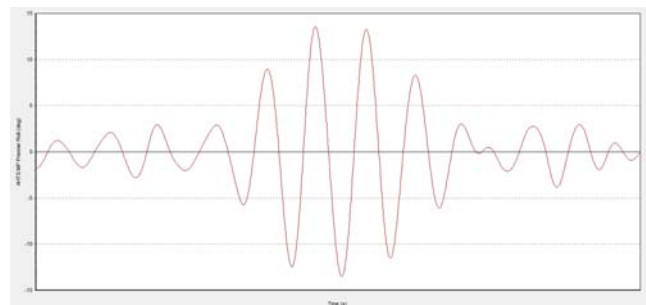
Gambar 6. Konfigurasi *towing*

C. Analisa Gerak AHTS *MP Premier* pada Operasi *Towing*

Berdasarkan konfigurasi yang dibuat, dilakukan analisa ranah *time domain* dengan bantuan *software*. Analisa gerakan yang diteliti adalah gerakan *roll*, *pitch*, *heave displacement*, *heave velocity*, dan *heave acceleration*. Analisa gerak ditampilkan dalam bentuk *time domain* seperti pada gambar 7. Dan diolah dengan persamaan 5 untuk mendapat nilai-nilai untuk dibandingkan dalam kriteria *seakeeping*.



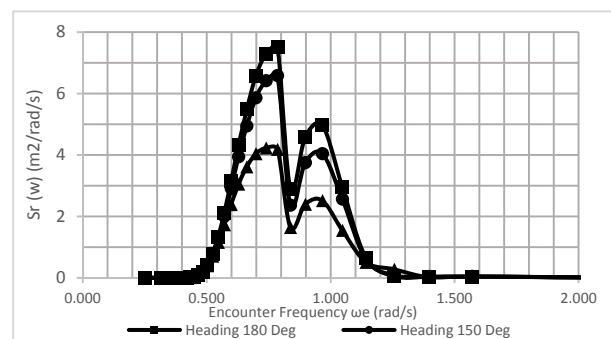
Gambar 7. Rekaman motion *roll* AHTS *MP Premier* 85% *fuel tank* pada laut cina selatan kondisi operasi *towing* dengan heading 120°



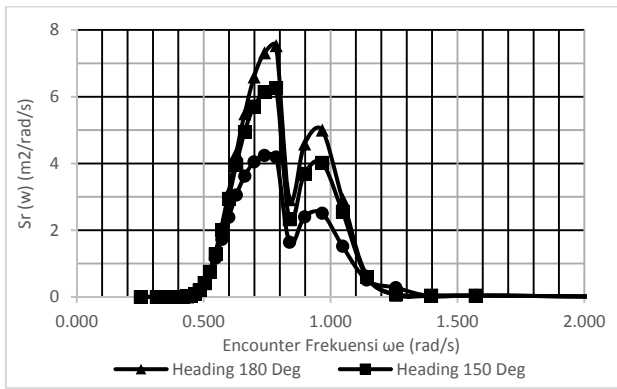
Gambar 8. Pembesaran rekaman motion *roll* AHTS *MP Premier* 85% *fuel tank* pada laut cina selatan kondisi operasi *towing* dengan heading 120°

D. Respon Gerak relatif haluan vertikal AHTS *MP Premier* pada Operasi *Towing*

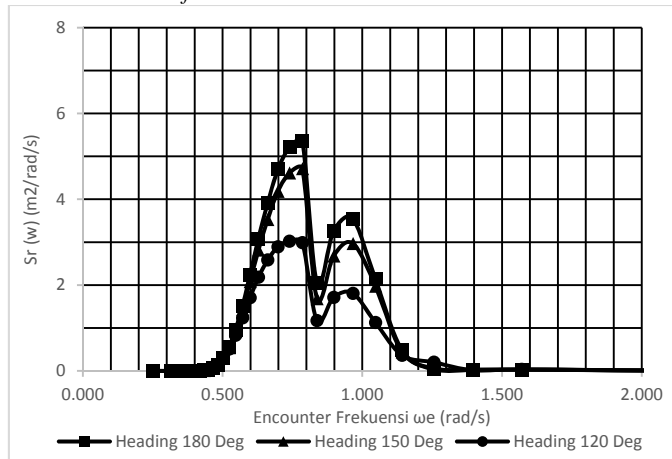
Respon gerak didapat dari hasil perkalian antara nilai RAO kuadrat dengan spektra gelombang. Pada analisa respon gerakan haluan vertikal didapatkan dengan menggunakan RAO gerak haluan vertikal berdasarkan RAO Couple Heave dan Pitch. Grafik respon gerak relatif halua vertikal terdapat pada gambar 8, 9, dan 10.



Gambar 9. Respon Spektra Gerak Relatif Vertikal Haluan AHTS *MP Premier* *Full Load*



Gambar 10. Respon Spektra Gerak Relatif Vertikal Haluan AHTS MP Premier 85% fuel tank



Gambar 11. Respon Spektra Gerak Relatif Vertikal Haluan AHTS MP Premier 69% fuel tank

E. Peluang Kejadian Slamming

Berdasarkan harga spektra respon AHTS MP Premier pada tiap kondisi dan heading maka dapat dianalisa kemungkinan terjadinya *slamming* menggunakan persamaan 9. Hasil analisa *probability slamming* dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Probability slamming AHTS MP Premier

Slamming AHTS MP Premier		
Titik Tinjau FP		
Kecepatan 5 Knot		
Kondisi	Heading	Pr(slam)
Full Load - Hs 4,6 m	180	0,011477
	150	0,005448
	120	0,000745
85% Load - Hs 4,6 m	180	0,012592
	150	0,007030
	120	0,000945
69% Load - Hs 3,89 m	180	0,002608
	150	0,001334
	120	0,000087

F. Peluang Kejadian Greenwater

Analisa peluang kejadian *greenwater* juga mengacu pada spektra respon AHTS MP Premier dengan menggunakan persamaan 10. Hasil peluang kejadian terdapat pada tabel 10.

Tabel 10. Probability greenwater AHTS MP Premier

Greenwater AHTS MP Premier		
Titik Tinjau FP		
Kecepatan 5 Knot		
Kondisi	Heading	Pf(greenwater)
Full Load - Hs 4,6 m	180	0,0174140
	150	0,0088637
	120	0,0014608
85% Load - Hs 4,6 m	180	0,0143525
	150	0,0081552
	120	0,0011654
69% Load - Hs 3,9 m	180	0,0020709
	150	0,0009609
	120	0,0000546

G. Evaluasi Kriteria Seakeeping AHTS MP Premier saat towing

Tiap nilai yang didapat dari hasil analisa gerakan, *slamming*, dan *greenwater* dibandingkan dengan kriteria *seakeeping*. Kriteria *seakeeping* dalam penelitian ini mengacu pada olson (1978) [9] dan juga yamamoto (1984) [10]. Tabel 11 menunjukkan kelayakan AHTS MP Premier terhadap kriteria *seakeeping*.

Tabel 11. Evaluasi kriteria seakeeping AHTS MP Premier

Criteria	Detail Criteria	Unit	Full Load			85% Load Condition			69% Load Condition		
			180°	150°	120°	180°	150°	120°	180°	150°	120°
General Criteria	12 deg single amplitude average roll	deg	0,002	2,625	4,466	0,003	2,64	4,526	0,002	1,474	2,488
	3 deg single amplitude average pitch	deg	3,415	3,142	2,55	3,421	3,261	2,552	2,89	2,819	2,275
	Significant Heave Acceleration ≤ 0.4g (3,924 m/s ²)	m/s ²	1,977	1,836	1,831	1,98	1,891	1,834	1,741	1,694	1,693
	Significant Heave Acceleration ≤ 0.2g (1,962 m/s ²)	m/s ²	1,977	1,836	1,831	1,98	1,891	1,834	1,741	1,694	1,693
Helicopter Criteria	12,8 deg double amplitude significant roll	deg	0,006	8,4	14,29	0,008	8,448	14,482	0,006	4,718	7,97
	2,55 m double amplitude heave displacement	m	5,984	5,574	4,778	6,034	5,744	4,818	4,7512	4,676	4,024
	2,53 m/s significant heave velocity	m/s	2,361	2,21	2,064	2,362	2,278	2,068	1,979	1,954	1,836
Slamming and Deck Wetness Criteria	0.2 Probability Slamming	-	0,01147	0,00544	0,00074	0,01259	0,00702	0,00094	0,0026	0,00133	0,00008
	0.2 Probability greenwater	-	0,01741	0,00886	0,00146	0,01435	0,00815	0,00116	0,00207	0,00096	0,00005

H. Evaluasi Kriteria Seakeeping AHTS MP Premier

Mengacu pada nilai gerakan dengan aspek *seakeeping* pada tabel 11. Setiap skenario yang memiliki nilai maksimum pada tiap aspek ditinjau kembali dengan melakukan variasi tinggi gelombang signifikan untuk mengetahui batas-batas kemampuan AHTS yang tertera pada tabel 12.

Tabel 12. Batas tinggi gelombang AHTS MP Premier dalam kriteria seakeeping

Criteria	Detail Criteria	Hs Maksimum
General Criteria	12 deg single amplitude average roll	> 6 m
	3 deg single amplitude average pitch	4 m
	Significant Heave Acceleration ≤ 0.4g (3,924 m/s ²)	> 6 m
Helicopter Criteria	Significant Heave Acceleration ≤ 0.2g (1,962 m/s ²)	4,5 m
	12,8 deg double amplitude significant roll	4 m
	2,55 m double amplitude heave displacement	1,5 m

Tabel 13. Batas tinggi gelombang AHTS MP Premier dalam kriteria *seakeeping* (lanjutan)

Helicopter Criteria	2,13 m/s significant heave velocity	4 m
Slamming and Deck Wetness Criteria	0,2 Probability slamming 0,2 Probability greenwater	4,5 m

I. Operabilitas

Dengan membandingkan nilai-nilai pada tabel 12 dan 13 dengan sebaran data gelombang, dapat diketahui berapa operabilitas AHTS MP Premier selama melakukan operasi *towing* FSO Arco Ardjuna dengan kecepatan 5 knot pada perairan laut cina selatan dan laut jawa. Sebaran data gelombang diwakili oleh sebaran data gelombang pada laut cina selatan . Operabilitas dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14. Operabilitas AHTS MP Premier

Tp (s)	Hs (m)											
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	
Lower	0,49	0,99	1,49	1,99	2,49	2,99	3,49	3,99	4,49	4,99	5,49	5,99
Upper	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	1,9	0,0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2,9	0,0210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	3,9	0,1079	0,0863	0,0050	0,0018	0,0002	-	-	-	-	-	-
4	4,9	0,0183	0,1529	0,0143	-	-	-	-	-	-	-	-
5	5,9	0,0060	0,0370	0,0771	0,0047	-	-	-	-	-	-	-
6	6,9	0,0043	0,0177	0,0409	0,0257	0,0010	-	-	-	-	-	-
7	7,9	0,0023	0,0079	0,0280	0,0382	0,0105	0,0002	-	-	-	-	-
8	8,9	0,0020	0,0058	0,0103	0,0247	0,0334	0,0119	0,0009	-	-	-	-
9	9,9	0,0007	0,0041	0,0062	0,0158	0,0176	0,0255	0,0129	0,0012	-	-	-
10	10,9	-	0,0037	0,0051	0,0067	0,0095	0,0113	0,0114	0,0080	0,0017	-	-
11	11,9	0,0001	0,0027	0,0034	0,0034	0,0043	0,0059	0,0047	0,0049	0,0025	0,0022	0,0003
12	12,9	-	0,0020	0,0022	0,0016	0,0009	0,0020	0,0019	0,0018	0,0010	0,0009	0,0005
13	13,9	-	0,0007	0,0010	0,0004	0,0006	0,0002	0,0004	0,0011	0,0003	0,0002	0,0002
14	14,9	-	0,0002	0,0009	0,0004	0,0004	0,0003	0,0001	-	-	-	-
15	15,9	0,0001	0,0001	0,0002	0,0006	0,0004	0,0007	0,0001	-	-	-	-
16	16,9	-	0,0001	-	0,0001	-	-	-	-	-	-	-
17	17,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	18,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total		0,1636	0,3212	0,1947	0,1243	0,0789	0,0580	0,0324	0,0169	0,0055	0,0033	0,0009

Berdasarkan persamaan 11, dapat diketahui nilai operabilitas AHTS MP Premier pada tabel 13. Nilai operabilitas yang ditinjau hanya berdasarkan *general criteria* dan *slamming and greenwater criteria* dikarenakan kedua kriteria tersebut akan selalu terjadi pada AHTS MP Premier selama operasi *towing* berlangsung. Sedangkan untuk *helicopter criteria* dianggap tidak terjadi terus menerus selama operasi *towing*, akan tetapi analisa *helicopter criteria* tetap dilakukan untuk mengetahui batas gelombang jika operasi pemuatan terpaksa dilakukan saat operasi *towing*. Dengan batas kemampuan Hs 4 m untuk *general criteria* dan *slamming and greenwater criteria* didapat nilai operabilitas sebesar 98,99%. Sedangkan jika operasi pemuatan terpaksa dilakukan AHTS MP Premier diijinkan melakukan operasi pada Hs 1,5 m.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan analisa data dan pembahasan, maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

- Gerakan AHTS MP Premier saat operasi *towing* FSO Arco Ardjuna memiliki nilai rata-rata roll terbesar 4,53 deg pada kondisi 85% *fuel tank* dengan arah gelombang 120°, nilai rata-rata *pitch* terbesar 3,42 deg pada kondisi 85% *fuel tank* dengan arah datang gelombang 180°, nilai signifikan percepatan *heave* terbesar 1,98 m/s² pada kondisi 85% *fuel tank* dengan arah datang gelombang 180°, nilai *double signifikan roll* terbesar 14,48 deg pada

kondisi 85% *fuel tank* dengan arah datang gelombang 120°, nilai *double heave* terbesar 6,03 m pada kondisi 85% *fuel tank* dengan arah datang gelombang 180°, dan nilai signifikan kecepatan *heave* terbesar 2,36 m/s pada kondisi 85% *fuel tank* dengan arah datang gelombang 180°.

- Pada analisa *probability slamming*, didapat nilai *probability* kondisi *full load* dengan *heading* 180 deg sebesar 0,01147, *full load* dengan *heading* 150 deg sebesar 0,00544, *full load* dengan *heading* 120 deg sebesar 0,00074, 85% *fuel tank* dengan *heading* 180 deg sebesar 0,01259, 85% *fuel tank* dengan *heading* 150 deg sebesar 0,00702, 85% *fuel tank* dengan *heading* 120 deg sebesar 0,00094, 69% *fuel tank* dengan *heading* 180 deg sebesar 0,00260, 69% *fuel tank* dengan *heading* 150 deg sebesar 0,00133, dan 69% *fuel tank* dengan *heading* 120 deg sebesar 0,00008.
- Pada analisa *probability slamming*, didapat nilai *probability greenwater* pada kondisi *full load* dengan *heading* 180 deg sebesar 0,01741, *full load* dengan *heading* 150 deg sebesar 0,00886, *full load* dengan *heading* 120 deg sebesar 0,00146, 85% *fuel tank* dengan *heading* 180 deg sebesar 0,01435, 85% *fuel tank* dengan *heading* 150 deg sebesar 0,00815, 85% *fuel tank* dengan *heading* 120 deg sebesar 0,00116, 69% *fuel tank* dengan *heading* 180 deg sebesar 0,00207, 69% *fuel tank* dengan *heading* 150 deg sebesar 0,00096, dan 69% *fuel tank* dengan *heading* 120 deg sebesar 0,00005.
- Operabilitas AHTS MP Premier saat operasi *towing* FSO Arco Ardjuna sebesar 98,99% berdasarkan aspek *general criteri*, *probability slamming* dan *greenwater* dengan batas Hs 4 m. Selain itu batas gelombang untuk AHTS MP Premier melakukan operasi pemindahan muatan/*helicopter criteria* adalah Hs 1,5 m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT.Pertamina Hulu Energi Offshore Northwest Java (PT. PHE ONWJ) dan PT. Pelayaran Nasional Bina Buana Raya yang telah mendukung dalam hal data teknis serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam mengerjakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ximenes, M. C., *Design and Construction of a Floating Storage and Offloading Vessel Escravos LPG FSO* (1997)
- International Maritime Organization, *Guidelines for Safe Ocean Towing*. London (1987)
- PHE ONWJ, *FSO Arco Ardjuna Dry Docking – Project Overview*. Jakarta (2014)
- Wartsila, *MP Premier 65m A.H./ Offshore Support Vessel – Lghtship Survey & Intact Stability Report (Final)*, Singapore (2011)
- DNV OS E301. *Position Mooring*. Norway (2004).
- Djarmiko, E.B., *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*, ITS Press, Surabaya (2012).
- Bhattacharyya, R., *Dynamic of Marine Vehicles*, New York: John Wiley & Sons Inc (1972)
- PHE ONWJ, *Towing Plan of FSO Arco Ardjuna*. Jakarta (2015)
- Olson, S.R., *An Evaluation of the Seakeeping Qualities of Naval Combatants*, Naval Engineering Journal, ASNE, Vol. 90, No.1, pp. 23-40 (1978).
- Llyod, A.R.J.M., *Seakeeping: Ship Behavior in Rough Weather*. Ellis Horwood Series in Marine Technology (1989)