



Analisa Pengaruh Penambahan *Hull Fixed Bow Fin* Terhadap Gerak *Pitching* dan *Heaving* Pada Kapal *Tanker* 112 Meter

Muhammad Aulia Zahril^{*}, Parlindungan Manik¹⁾, Kiryanto¹⁾

¹⁾Laboratorium Perencanaan Kapal Dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}e-mail : m.auliazahril@student.undip.ac.id

Abstrak

Penambahan variasi *Fixed Fin* pada haluan kapal dapat dilakukan untuk meredam gerakan *pitching*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *Fixed Fin* dengan model *NACA 0018* dan *NACA 0021* divariasikan dengan kecepatan kapal dan sudut serang *fin* terhadap *seakeeping* kapal. Penelitian dilakukan dengan menghitung *RMS heaving*, *RMS pitching*, *Probabilitas slamming*, dan *Probabilitas deck wetness*. Metode untuk menghitung *RAO* menggunakan software berbasis metode panel. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dua variasi model *fin* mempunyai karakteristik yang sama, yaitu mengalami kenaikan pada nilai *RAO heaving* dan mengalami penurunan pada nilai *RAO pitching* yang mengakibatkan hasil yang sama pada nilai masing – masing *RMS*. Variasi model *fin* yang dapat menimbulkan efek *anti-pitching* yang paling baik yaitu pada *sea state slight* model *NACA 0021* dengan variasi sudut serang 3° dan kecepatan kapal 11 knot yang dapat menurunkan nilai *RMS Pitching* sebesar $0,2506^\circ$ dengan penurunan 15.89 % dari model tanpa *fixed fin*. *Probabilitas slamming* dan *deck wetness* pada semua variasi model memenuhi standar *nordforsk 1987*. Nilai *probabilitas slamming* terbesar yaitu pada model *NACA 0018* dengan sudut serang 5° dan kecepatan 14 knot sebesar $1,40 \times 10^{-6}$. Nilai *probabilitas deck wetness* terbesar yaitu pada model *NACA 0018* dengan sudut serang 5° dan kecepatan 14 knot sebesar 0,015.

Kata Kunci : *Sea Keeping*, *Slamming*, *Deck wetness*, *Fixed Bow Fin*, *Panel Method*

1. PENDAHULUAN

Kapal *tanker* adalah alat angkut utama untuk mendistribusikan minyak di Indonesia karna itu desain kapal *tanker* sangat menentukan kelancaran distribusi minyak di Indonesia. Kapal *tanker* memiliki ruang muat yang berisi cairan yang bisa mengakibatkan efek *Sloshing*. *Sloshing* dapat di artikan sebagai efek yang di timbulkan oleh fluida yang bergerak bebas dalam di suatu wadah. Masalah yang di timbulkan oleh *sloshing* yaitu dapat menyebabkan kerusakan pada struktur dalam tangki yang di akibatkan oleh pergerakan tangki. Telah diketahui dalam hasil penelitian bahwa situasi seperti itu dapat merubah *RMS Rolling* kapal tidak terkena efek *sloshing* sebesar $1,57^\circ$ menjadi $6,57^\circ$ membuat kenaikan *RMS Rolling* sebesar 318 % [1], dan dapat menurunkan umur kelelahan struktur dari 67 tahun menjadi 20 tahun. Kapal mengalami penurunan umur kelelahan struktur sebesar 70% [2]. Penambahan *Fin* pada

kapal berhasil digunakan di masa lalu untuk melawan efek tersebut sampai batas tertentu. Sistem seperti itu telah menjadi perhatian tambahan bagi para akademisi, dikarenakan masalah pemeliharaan dan pengoperasian.

Penambahan variasi *Fixed Fin* pada lambung kapal dapat diaplikasikan untuk meredam gerakan *pitching*. investigasi eksperimental pada *Fin* sebagai *anti-pitching* dan *anti-rolling* yang dapat meredam gerakan *pitch* dan *roll* sebesar 17% sampai 56% [3].

Bhattacharyya berhasil melakukan percobaan menggunakan *Fin* yang cocok untuk lambung dibawah air. *Fin* ini ditempatkan serendah mungkin pada haluan kapal karena penambahan *fin* dapat menimbulkan masalah operasional yang serius. Kemungkinan gaya *slamming* yang terbentuk dimungkinkan karena adanya penambahan *Fin* tersebut dan ini harus dipertimbangkan dalam desain struktural. Jenis *Fin*

yang digunakan adalah pengaplikasian *Hydrofoil* yang dapat menonjol ke permukaan lambung kapal. *Fin* di desain sedemikian rupa sehingga luas *Fin* kira kira sebesar 4,6% dari luas LWL [4].

Penelitian sebelumnya tersebut bertujuan untuk menganalisa redaman *pitching* yang di pengaruhi oleh *hull fixed bow fin* di haluan pada kapal *tanker*. Dan melihat apakah ada pengaruh dari variasi kecepatan dan variasi sudut serang *fin* terhadap gerakan *pitching*. Kesimpulan dari penelitian ini menjelaskan bahwa *fixed bow fin* dapat meredam *pitch* maupun *heave* yang di akibatkan oleh gelombang. Hasil dari analisa *fixed bow fin* lebih efektif pada saat frekuensi gelombang 9 smpa 11 detik. Dan *fixed bow fin* dapat meredam *pitching* sebesar 43% [5]. Selain itu penelitian lainnya mengatakan bahwa penambahan *Hull Fixed bow fin* bisa mengurangi hambatan sampai 9.43% dan menghasilkan gaya angkat sebesar 5798,2 N. pada model NACA 0021 dengan sudut serang 7 derajat adalah model yang menghasilkan gaya angkat terbesar dan efektif menurunkan nilai hambatan. [6]

Dari beberapa penelitian yang telah dijelaskan diatas, penulis ingin melakukan penelitian lebih lanjut mengenai perubahan *heaving* dan *pitching* dengan melakukan penambahan *Fixed Bow Fin* pada kapal *tanker*.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa variasi model *Fixed Bow Fin* yang optimal untuk mengurangi olah gerak pada Kapal *Tanker*. Manfaat dari penelitian yang akan dilakukan yaitu sebagai referensi yang memberikan informasi berkaitan tentang pengaruh olah gerak kapal *tanker* oleh variasi model menggunakan *Fixed Bow Fin*.

Penelitian ini juga memiliki tujuan sebagai berikut :

- Menganalisa desain Kapal *tanker* dengan variasi menggunakan *Fixed Bow Fin* dan mendapatkan RMS *heaving* dan *Pitching*.
- Melakukan perhitungan *probabilitas slamming* dan *deck wetness*.
- Menganalisa model mana yang paling optimum

2. METODE

Data untuk penelitian ini didapatkan dengan cara studi literatur dan juga studi lapangan, dengan desain *hull fixed bow fin* sebagai variabel bebas lalu gerak *pitching* dan *heaving* sebagai variabel terikat sehingga diperoleh data sebagai berikut :

2.1. Kapal Tanker

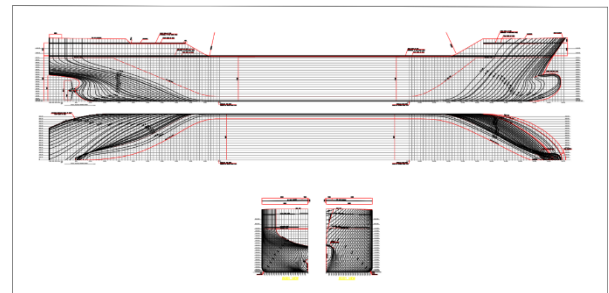
Kapal *tanker* di buat untuk menggantikan transportasi pembawa minyak, yang awalnya dibawa pada tong di kapal konvensional dan menghindari resiko terjadinya kebakaran pada tong – tong pembawa minyak, pada tahun 1861 dibuat

kapal *tanker* pertama dirancang yang diklasifikasikan oleh *Bureau Veritas*.

kapal *tanker* pada penelitian ini memiliki ukuran utama kapal sebagai berikut :

- *Length Over All (LOA)* :112 m
- *Length Between Perpindicular (LPP)* :98 m
- *Bredth (B)* :19,2 m
- *Draught (T)* :6 m
- *Height (H)* :9,3 m

Selain itu data *lines plan* kapal *tanker* 112 m dapat di lihat pada gambar 1.



Gambar 1. *Lines Plan* Kapal *Tanker*

Penelitian ini akan diterapkan penerapan *Fixed bow Fin* pada haluan kapal *tanker* dengan variasi dua konfigurasi *foil Fixed bow Fin*, yaitu memakai *foil NACA 0018* dan *foil NACA 0021*. Masing – masing konfigurasi tersebut dibuat dua model dengan sudut serang yang berbeda, yaitu pada sudut 0°, 3°, 5° dan 7° dengan keadaan gelombang *slight*, *moderate*, dan *rough* pada kode keadaan laut menurut WMO. Penelitian dengan 4 kecepatan berbeda ini dilakukan bertujuan untuk nilai redaman gerak *pitching* dan *heaving* pada kapal *tanker* menggunakan software.

Penulisa melakukan penelitian untuk menghitung nilai RMS *Heaving*, RMS *Pitching* pobabilitas *slamming* dan pobabilitas *deck wetness* menggunakan *software* dengan metode panel di laboratorium perancangan kapal dibantu komputer yang terletak di Gedung B, Gedung Kuliah Bersama Departemen Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro.

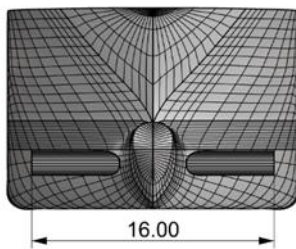
2.2. Teori *Fin*

Fin atau lebih dikenal dengan *Fixed Bow Fin* salah satu modifikasi *hull* yang digunakan sebagai *anti-pitching*. Salah satu penelitian eksperimental yang mendapatkan hasil 20% pengurangan dalam gerak *pitch* yang tergantung pada pada total *fin* area dan jarang *fin* pada titik CG[7]. Pada penelitian Hiroshi issniki menyatakan bahwa *fin* bekerja efektif dapat menghasilkan dorongan tambahan terutama pada gelombang pendek dan dapat mengurangi beban kerja mesin serta mengurangi gas emisi yang di hasilkan mesin[8].

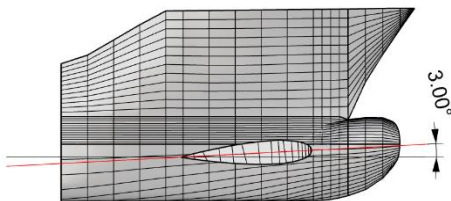
Penelitian ini menggunakan spesifikasi *fin* yang tertera pada tabel 1.

Tabel 1. Variasi Model *Foil*

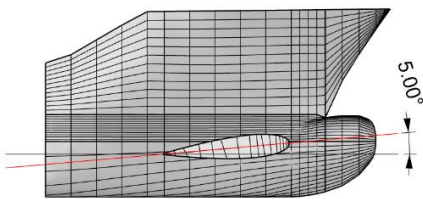
Model	Seri Foil	Sudut Serang (°)	Span (m)	Chord (m)
1	Foil NACA 0018	0	16	8
2	Foil NACA 0018	3	16	8
3	Foil NACA 0018	5	16	8
4	Foil NACA 0018	7	16	8
5	Foil NACA 0021	0	16	8
6	Foil NACA 0021	3	16	8
7	Foil NACA 0021	5	16	8
8	Foil NACA 0021	7	16	8



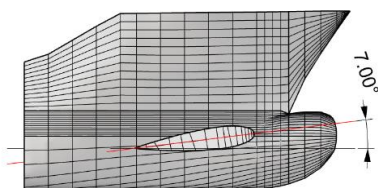
Gambar 2. Tampak depan variasi



Gambar 3. Tampak samping variasi *Fixed Fin* NACA 3°



Gambar 4. Tampak samping variasi *Fixed Fin* NACA 5°



Gambar 5. Tampak samping variasi *Fixed Fin* NACA 7°

Gambar 2 menunjukan tampak depan kapal dan menunjukkan panjang fin kapal dan gambar 3 sampai gambar 5 menunjukkan sudut serang yang di pakai oleh penelitian ini.

2.3. RAO

Respon gerak kapal pada gelombang reguler di sebut *response amplitudo operator* atau RAO. RAO adalah perbandingan antara amplitudo gerakan kapal dengan amplitudo gelombang pada frekuensi tertentu. RAO mempunyai dua jenis yaitu RAO gerakan translasi dan RAO gerakan rotasi. Untuk dapat menghitung RAO dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

Untuk RAO pada gerak translasi adalah perbandingan antara amplitudo gerakan translasi kapal dengan amplitudo gelombang.

$$RAO = \frac{z_0}{\zeta_0} \text{ (m/m)} \quad (1)$$

Untuk RAO pada gerak rotasi merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi kapal dengan kemiringan gelombang yang merupakan perkalian angka gelombang

$$RAO = \frac{\theta_0}{k_w \zeta_0} = \frac{\theta_0}{(\omega^2/g)\zeta_0} \text{ (rad/ rad)} \quad (2)$$

Gelombang pada laut adalah merupakan gelombang yang acak karena itu respon kapal dengan gelombang reguler yaitu RAO tidak bisa menggambarkan respon kapal pada keadaan sesungguhnya. Gelombang acak bisa hitung menggunakan spektrum respon dengan perkalian antara spektrum gelombang (S_ζ) dengan RAO^2

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2 \times S_\zeta(\omega) \quad (3)$$

2.4. Spektrum Gelombang

Spektrum gelombang yang dipakai pada penelitian ini adalah *Internasional Towing Tank Conference* atau biasa di sebut ITTC dengan menggunakan dua parameter. Tinggi gelombang (H_s) yang dipakai menggunakan kondisi perairan *slight, moderate, dan rough* berdasarkan WMO *Sea State Code* yang tertera pada tabel 2.

$$SS_{ITTC\zeta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right) \quad (4)$$

Dimana : ω = frekuensi gelombang

$$A = 172,75 \frac{H_s^2}{Tav^4} \quad (5)$$

$$B = \frac{691}{Tav^4} \quad (6)$$

Spektrum gelombang (S_w) sangat dipengaruhi oleh frekuensi gelombang. Dikarenakan dipengaruhi oleh kecepatan kapal dan juga sudut datang gelombang, oleh karena itu gelombang insiden (w)

harus diubah menjadi frekuensi gelombang papasan atau *encountering wave frequency* (e). Gelombang papasan yang akan digunakan untuk membuat spektrum gelombang papasan (S_e). Frekuensi gelombang papasan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\omega_e = \omega_w \left(1 - \frac{\omega_w V}{g} \cos \mu\right) \quad (7)$$

Dimana : ω_e = frekuensi gelombang papasan
 ω_w = frekuensi gelombang
 V = kecepatan kapal
 g = percepatan gravitasi

Tabel 2. *Beaufort Scale WMO Sea State Code* [9]

Sea State Code	Sustained Wave Height (m)		Wave Priode (s)	Description
	Range	Mean		
3	0,5 – 1,25	0,875	7,8	Slight
4	1,25 – 2,5	1,875	8,8	Moderate
5	2,5 – 4,0	3,25	9,7	Rough

2.5. Root Mean Square (RMS)

m_0 bisa didefinisikan sebagai luasan di bawah kurva spektrum dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$m_0 = \int_0^{\omega} S \zeta r(\omega) d\omega \quad (8)$$

RMS atau bisasa di sebut *root mean square* masing – masing amplitudo gerakan (ζ) dapat dihitung dengan nilai m_0 yang diakar kuadrat atau yang dinyatakan dalam $\sqrt{m_0}$, maka untuk mendapatkan nilai amplitudo dinyatakan dalam :

$$(\zeta)_{av} = 1,253 \sqrt{m_0} \quad (9)$$

Untuk menghasilkan nilai amplitudo signifikan atau rata – rata dari 1/3 amplitudo tertinggi dinyatakan dengan :

$$(\zeta)_s = 2 \sqrt{m_0} \quad (10)$$

2.6. Slamming

Slamming telah diketahui selama bertahun – tahun sebagai penyebab *buckling* lokal dan deformasi pada pelat alas bagian haluan kapal.

Peluang terjadinya *slamming* dapat di hasilkan dengan persamaan dibawah ini :

$$\text{Pr } \textit{slamming} = \exp \left(-\frac{T_b^2}{2m_{os}} - \frac{V_{br}^2}{2m_{2s}} \right) \quad (11)$$

Dimana,

Z_{br} = Kerakan relatif vertikal haluan
 V_{br} = Kecepatan relatif haluan
 V_{th} = Kecepatan ambang
 T_b = Sarat pada haluan
 m_{os} = Luasan dari spektrum untuk *relative bow motion*
 m_{2s} = Luasan dari spektrum *respon relative bow velocity*

Untuk menghitung intensitas *slamming* per jam dapat di hasilkan dengan persamaan dibawah ini :

$$N_w = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2m_{os}}{2m_{2s}}} \times \text{Pr } \textit{slamming} \quad (12)$$

2.7. Deck Wetness

Pada cuaca yang ekstrim seperti badai, gelombang dan gerakan kapal dapat menjadi begitu besar sehingga air dapat masuk ke *deck*, nilai probabilitas masuknya air ke *deck* bisa disebut *deck wetness*.

Probabilitas *deck wetness* atau *greenwater* dihitung dengan persamaan :

$$P\{s \geq f'(l)\} = e^{-f'(l)^2 / 2m_0} \quad (13)$$

Dimana:

f' = *Freeboard* efektif
 m_0 = Luasan di bawah response spectrum

Untuk menghitung intensitas *deck wetness* per jam dapat menggunakan persamaan:

$$N_T = \frac{\text{Peluang } \textit{deck wetness}}{\text{Periode rata – rata}} \times 3600 \quad (14)$$

$$= \frac{P_T}{T} \times 3600$$

2.8. Standar Olah Gerak

Hasil perhitungan olah gerak kapal dievaluasi dengan menyesuaikan standar kriteria *seakeeping* yang berlaku dengan tidak lupa memperhatikan jenis kapal. Pada penelitian ini NORDFORSK 1987 digunakan sebagai standar kriteria olah gerak kapal *tanker* tertera pada tabel 3 [10].

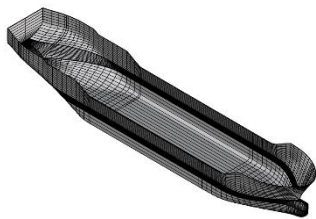
Tabel 3. *NORDFORSK 1987*

No.	Criteria for Ship	Merchant Ships
1	Vertical acceleration at forward perpendicular	0.275g ($L \leq 100$ m) 0.05g ($L \geq 330$ m)
2	Vertical acceleration at bridge	0.15 g RMS
3	Lateral acceleration at bridge	0.12 g RMS
4	RMS of Roll	6.0 deg
5	Slamming (probability)	0.03 ($L \leq 100$ m) 0.01 ($L \geq 300$ m)
6	Deck wetness (probability)	0,05

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Permodelan 3D Kapal

Untuk dapat melakukan analisa olah gerak kapal diperlukan model 3D kapal. Permodelan kapal *tanker* yang di gunakan dalam penelita ini dibuat berdasarkan *lines plan* pada gambar 1. Sehingga menghasilkan model 3D kapal *tanker* seperti gambar 6.



Gambar 6. Model 3D Kapal Tanker

setelah model selesai model 3D diimport ke maxsuft untuk memvalidasi data hidrostatik model sama dengan data hasil towing tank. Data perbandingan model 3D dengan data hasil *towing tank* pada tabel 4:

Tabel 4. Data Kapal Tanker

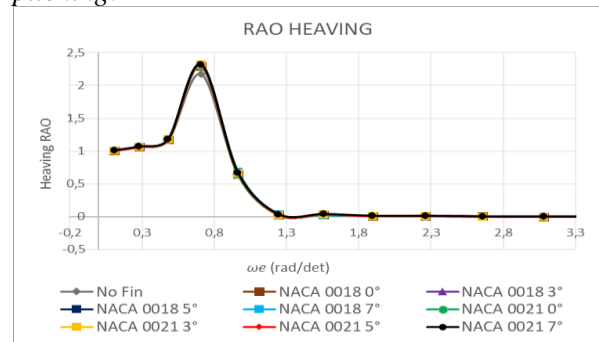
No.	Komponen	Nilai		Unit
		Kapal	Data Maxsuft	
1	LOA	112	112	m
2	LWL	103,5	103,61	m
3	B	19,2	19,2	m
4	H	9,3	9,4	m
5	T	6	6	m
6	Displacement	9288,17	9443	ton
7	Volume Displacement	9291,96	9212	m ³
8	Cb	0,779	0,767	
9	Cm	0,996	0,99	
10	Cp	0,782	0,775	
11	WSA	2753,82	2736,89	m ²

Setelah divalidasi, model di berikan *fin* pada bagian haluan sesuai variasi yang telah di tentukan Pada penelitian ini dilakukan variasi 2 tipe *fin* sebagai berikut :

- Foil NACA 0018
- Foil NACA 0021

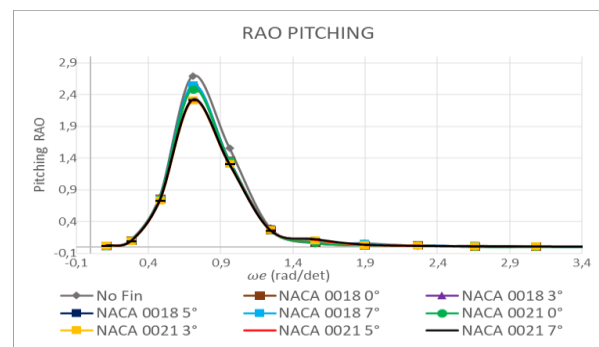
3.2. Hasil Perhitungan RAO

Respon gerakan kapal terhadap gelombang reguler biasanya digambarkan pada grafik RAO. Di bawah ini adalah grafik RAO untuk *heaving* dan *pitching*.



Gambar 7. Grafik RAO Heaving

Pada gambar 7 grafik RAO *heaving* pada kecepatan kapal 14 knot dikarenakan pada variasi kecepatan ini mendapatkan hasil paling baik. Pada grafik terlihat terjadinya kenaikan pada kurva RAO tiap variasi, variasi yang memiliki kenaikan RAO *heaving* yang paling terendah.



Gambar 8. Grafik RAO Pitching

Pada gambar 8 grafik RAO *pitching* pada kecepatan kapal 14 knot terlihat terjadinya penurunan pada kurva RAO tiap variasi, variasi yang memiliki titik puncak paling rendah yaitu NACA 0021 pada sudut serang 3°.

3.3. Perhitungan RMS Kapal

Hasil RMS *Heaving* mengalami kenaikan dari model kapal tanpa *Fixed Bow Fin* dikarenakan terjadinya gaya angkat yang ditimbulkan oleh *Fixed Bow Fin*.

Tabel 5. RMS Heaving Slight Water

Item	Angle of attack	RMS Heaving (m)			
		Knot 11	Knot 12	Knot 13	Knot 14
NO FIN		0,1639	0,1702	0,1824	0,1990
	0°	0,1675	0,1763	0,1903	0,2080
NACA 0018	3°	0,1732	0,1812	0,1942	0,2111
	5°	0,1732	0,1812	0,1942	0,2111
	7°	0,1732	0,1812	0,1942	0,2111
	0°	0,1677	0,1767	0,1908	0,2085
NACA 0021	3°	0,1737	0,1821	0,1949	0,2112
	5°	0,1736	0,1820	0,1948	0,2111
	7°	0,1736	0,1820	0,1948	0,2111

Dari Tabel 5 menyatakan bahwa hasil dari RMS heaving untuk *sea state slight* mengalami kenaikan dengan nilai tertinggi berada pada variasi model *fin* NACA 0021 dengan sudut serang 3° kecepatan 12 knot yaitu 0,1821 m yang mengalami kenaikan nilai sebesar 6,50 % dari model tanpa *fin*.

Tabel 6. RMS Heaving Moderate Water

Item	Angle of attack	RMS Heaving (m)			
		Knot 11	Knot 12	Knot 13	Knot 14
NO FIN		0,4561	0,5078	0,5672	0,6352
	0°	0,4752	0,5318	0,5965	0,6663
NACA 0018	3°	0,4876	0,5425	0,6054	0,6737
	5°	0,4874	0,5423	0,6052	0,6736
	7°	0,4873	0,5422	0,6052	0,6737
	0°	0,4764	0,5334	0,5984	0,6683
NACA 0021	3°	0,4930	0,5481	0,6095	0,6751
	5°	0,4925	0,5476	0,6090	0,6747
	7°	0,4924	0,5475	0,6090	0,6749

Dari Tabel 6 menyatakan bahwa hasil dari RMS heaving untuk *sea state Moderate* mengalami kenaikan dengan nilai tertinggi berada pada variasi model *fin* NACA 0021 dengan sudut serang 3° kecepatan 11 knot yaitu 0,4930 m yang mengalami kenaikan nilai sebesar 7,49 % dari model tanpa *fin*.

Tabel 7. RMS Heaving Rough Water

Item	Angle of attack	RMS Heaving (m)			
		Knot 11	Knot 12	Knot 13	Knot 14
NO FIN		0,9034	1,0001	1,1070	1,2285
	0°	0,9398	1,0441	1,1609	1,2858
NACA 0018	3°	0,9597	1,0617	1,1758	1,2983
	5°	0,9592	1,0612	1,1754	1,2981
	7°	0,9589	1,0610	1,1753	1,2982
	0°	0,9423	1,0473	1,1644	1,2895
NACA 0021	3°	0,9708	1,0729	1,1841	1,3017
	5°	0,9698	1,0718	1,1831	1,3009
	7°	0,9694	1,0716	1,1831	1,3012

Dari Tabel 7 menyatakan bahwa hasil dari RMS heaving untuk *sea state Rough* mengalami kenaikan dengan nilai tertinggi berada pada variasi model *fin* NACA 0021 dengan sudut serang 3° kecepatan 11 knot yaitu 0,9708 m yang mengalami kenaikan nilai sebesar 6,94 % dari model tanpa *fin*.

RMS heaving mengalami kenaikan tertinggi terjadi pada model *fin* NACA 0021 dengan sudut serang 3° yang tertera pada tabel 5 sampai tabel 7. Berdasarkan tabel, RMS gerak heaving pada *sea state moderate* model *fin* NACA 0021 dengan sudut serang 3° kecepatan 11 knot mengalami kenaikan tertinggi dengan nilai sebesar 0,4930 m yang mengalami kenaikan nilai sebesar 7,49 % dari model tanpa *fin*. Nilai RMS heaving bertambah seiring dengan adanya penambahan kecepatan kapal dan perubahan *sea state code*.

Hasil RMS pitching mengalami penurunan dari model kapal tanpa *Fixed Bow Fin* dikarenakan mendapatkan efek *anti-pitching* dari *Fixed Bow Fin*.

Tabel 8. RMS Pitching Slight Water

Item	Angle of attack	RMS Pitching (°/ deg)			
		Knot 11	Knot 12	Knot 13	Knot 14
NO FIN		0,2980	0,2909	0,2879	0,2887
	0°	0,2660	0,2622	0,2605	0,2626
NACA 0018	3°	0,2649	0,2622	0,2616	0,2648
	5°	0,2652	0,2625	0,2619	0,2652
	7°	0,2651	0,2625	0,2620	0,2653
	0°	0,2640	0,2604	0,2588	0,2610
NACA 0021	3°	0,2506	0,2470	0,2445	0,2457
	5°	0,2511	0,2474	0,2450	0,2462
	7°	0,2513	0,2477	0,2453	0,2466

Dari Tabel 8 menyatakan bahwa hasil dari RMS pitching untuk *sea state slight* mengalami redaman dengan nilai redaman terbaik berada pada

variasi model *fin* NACA 0021 dengan sudut serang 3° kecepatan 11 knot yaitu 0,2506° yang mengalami penurunan nilai sebesar 15,89 % dari model tanpa *fin*.

Tabel 9. RMS *Pitching Moderate Water*

Item	Angle of attack	RMS Pitching (°/ deg)			
		Knot 11	Knot 12	Knot 13	Knot 14
NO FIN		0,7363	0,7634	0,7963	0,8371
	0°	0,6728	0,7010	0,7321	0,7703
NACA 0018	3°	0,6740	0,7043	0,7377	0,7786
	5°	0,6749	0,7053	0,7390	0,7801
	7°	0,6754	0,7061	0,7400	0,7812
	0°	0,6688	0,6969	0,7278	0,7659
NACA 0021	3°	0,6350	0,6579	0,6828	0,7152
	5°	0,6363	0,6594	0,6845	0,7171
	7°	0,6372	0,6606	0,6860	0,7188

Dari Tabel 9 menyatakan bahwa hasil dari RMS *pitching* untuk *sea state moderate* mengalami redaman dengan nilai redaman terbaik berada pada variasi model *fin* NACA 0021 dengan sudut serang 3° kecepatan 14 knot yaitu 0,7152 m yang mengalami penurunan nilai sebesar 14,56 % dari model tanpa *fin*.

Tabel 10. RMS *Pitching Rough Water*

Item	Angle of attack	RMS Pitching (°/ deg)			
		Knot 11	Knot 12	Knot 13	Knot 14
NO FIN		1,2961	1,3686	1,4474	1,5383
	0°	1,1974	1,2662	1,3384	1,4213
NACA 0018	3°	1,2008	1,2728	1,3490	1,4367
	5°	1,2026	1,2750	1,3516	1,4397
	7°	1,2038	1,2767	1,3538	1,4422
	0°	1,1910	1,2593	1,3310	1,4134
NACA 0021	3°	1,1322	1,1883	1,2472	1,3183
	5°	1,1344	1,1911	1,2505	1,3221
	7°	1,1364	1,1936	1,2535	1,3255

Dari Tabel 10 menyatakan bahwa hasil dari RMS *pitching* untuk *sea state rough* mengalami redaman dengan nilai redaman terbaik berada pada variasi model *fin* NACA 0021 dengan sudut serang 3° kecepatan 14 knot yaitu 1,3183 m yang mengalami penurunan nilai sebesar 14,30 % dari model tanpa *fin*.

RMS *pitching* mengalami redaman terbaik terjadi pada model *fin* NACA 0021 dengan sudut serang 3° yang tertera pada tabel 8 sampai tabel 10. Berdasarkan tabel, RMS gerak *pitching* pada *sea state slight* model *fin* NACA 0021 dengan sudut

serang 3° kecepatan 11 knot mengalami redaman terbaik dengan nilai sebesar 0,2506° yang mengalami kenaikan nilai sebesar 15,89 % dari model tanpa *fin*. Nilai RMS *pitching* bertambah seiring dengan adanya penambahan kecepatan kapal dan perubahan *sea state code*.

3.4. Slamming

Hasil dari perhitungan probabilitas *slamming* dapat dilihat pada tabel 11 sampai tabel 13. Model kapal dengan penambahan *Fixed Bow Fin* NACA 0018 dan NACA 0021 semua memenuhi kriteria probabilitas *slamming* dari Nordforsk 1987 ya itu 0,003 untuk panjang kapal 100 m.

Tabel 11. Probabilitas *Slamming Slight Water*

Item	Angle of attack	Slamming			
		Knot 11 ($\times 10^{-19}$)	Knot 12 ($\times 10^{-19}$)	Knot 13 ($\times 10^{-19}$)	Knot 14 ($\times 10^{-19}$)
NO FIN		13,9782	3,4356	60,1429	10,4682
	0°	0,8744	2,9306	0,0075	0,2509
NACA 0018	3°	0,2224	1,2470	0,0862	0,7961
	5°	1,2230	0,8214	0,1142	171,5894
	7°	0,1668	0,1371	9,1022	8,9017
	0°	0,1721	3,7713	0,4125	104,7017
NACA 0021	3°	0,0070	0,0117	0,0343	7,8221
	5°	0,0811	0,8579	0,0887	313,0833
	7°	0,1652	77,3117	0,6580	0,0007

Dari Tabel 11 menyatakan bahwa hasil dari Probabilitas *Slamming* untuk *sea state slight* mengalami nilai tertinggi berada pada variasi model *fin* NACA 0021 dengan sudut serang 5° kecepatan 14 knot yaitu $3,13 \times 10^{-17}$.

Tabel 12. Probabilitas *Slamming Moderate Water*

Item	Angle of attack	Slamming			
		Knot 11 ($\times 10^{-10}$)	Knot 12 ($\times 10^{-10}$)	Knot 13 ($\times 10^{-10}$)	Knot 14 ($\times 10^{-10}$)
NO FIN		1,2782	0,4471	0,6819	0,6625
	0°	0,6592	2,6514	0,0043	0,0250
NACA 0018	3°	0,0250	0,3172	0,0221	0,1424
	5°	0,2749	1,7297	0,0056	8,8105
	7°	0,0380	0,9837	0,0693	0,6448
	0°	0,0468	0,2396	0,0555	6,3686
NACA 0021	3°	0,0139	0,1606	0,0153	1,8439
	5°	0,0441	1,4769	0,0338	7,7449
	7°	0,0285	1,6114	0,2184	8,9866

Dari Tabel 12 menyatakan bahwa hasil dari Probabilitas *Slamming* untuk *sea state moderate* mengalami nilai tertinggi berada pada variasi model *fin* NACA 0018 dengan sudut serang 5° kecepatan 14 knot yaitu $8,8 \times 10^{-10}$.

Tabel 13. Probabilitas *Slamming Rough Water*

Item	Angle of attack	Slamming			
		Knot 11	Knot 12	Knot 13	Knot 14
		($\times 10^{-7}$)	($\times 10^{-7}$)	($\times 10^{-7}$)	($\times 10^{-7}$)
NO FIN		3,1159	1,6726	1,2586	2,0877
NACA 0018	0°	4,3250	9,5966	0,0470	0,1675
	3°	0,1361	2,0777	0,1652	0,8763
	5°	1,8030	3,5246	0,0357	14,0742
	7°	0,2258	2,6700	1,8260	1,9028
NACA 0021	0°	0,4153	0,8659	0,2963	9,9298
	3°	0,5278	2,1325	0,1367	5,6436
	5°	0,3386	7,4712	0,4837	11,0046
	7°	0,2131	2,7729	1,2539	0,0562

Dari Tabel 13 menyatakan bahwa hasil dari Probabilitas *Slamming* untuk *sea state rough* mengalami nilai tertinggi berada pada variasi model *fin* NACA 0018 dengan sudut serang 5° kecepatan 14 knot yaitu $1,40 \times 10^{-6}$.

3.5. Deck Wetness

Hasil dari perhitungan probabilitas *deck wetness* dapat dilihat pada tabel 24 sampai tabel 26. Model kapal dengan penambahan *Fixed Bow Fin* NACA 0018 dan NACA 0021 semua memenuhi kriteria probabilitas *deck wetness* dari Nordforsk 1987 ya itu 0.05 untuk kapal niaga.

Tabel 14. Probabilitas *Deck Wetness Slight Water*

Item	Angle of attack	Deck Wetness			
		Knot 11	Knot 12	Knot 13	Knot 14
		($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)
NO FIN		3,1892	2,0453	4,8600	2,6622
NACA 0018	0°	1,3374	1,8430	0,2956	0,8045
	3°	0,8855	0,0139	0,6300	1,1930
	5°	1,4968	5,2735	0,7036	6,3327
	7°	0,7827	2,9537	2,5567	2,4707
NACA 0021	0°	0,8711	2,0219	0,9875	5,3829
	3°	0,2939	0,3564	0,4424	2,3354
	5°	0,6329	1,3142	0,6021	7,4784
	7°	0,7996	4,9664	1,1574	0,1286

Dari Tabel 14 menyatakan bahwa hasil dari Probabilitas *deck wetness* untuk *sea state slight* mengalami nilai tertinggi berada pada variasi

model *fin* NACA 0021 dengan sudut serang 5° kecepatan 14 knot yaitu $7,47 \times 10^{-6}$.

Tabel 15. Probabilitas *Deck Wetness Moderate Water*

Item	Angle of attack	Deck wetness			
		Knot 11	Knot 12	Knot 13	Knot 14
NO FIN		0,0009	0,0007	0,0007	0,0007
NACA 0018	0°	0,0007	0,0011	0,0002	0,0002
	3°	0,0003	0,0006	0,0003	0,0004
	5°	0,0006	0,0010	0,0002	0,0016
	7°	0,0003	0,0008	0,0007	0,0007
NACA 0021	0°	0,0003	0,0005	0,0003	0,0014
	3°	0,0002	0,0005	0,0002	0,0009
	5°	0,0003	0,0009	0,0003	0,0015
	7°	0,0003	0,0009	0,0005	0,0001

Dari Tabel 15 menyatakan bahwa hasil dari Probabilitas *deck wetness* untuk *sea state moderate* mengalami nilai tertinggi berada pada variasi model *fin* NACA 0018 dengan sudut serang 5° kecepatan 14 knot yaitu 0,0015.

Tabel 16. Probabilitas *Deck Wetness Rough Water*

Item	Angle of attack	Deck wetness			
		Knot 11	Knot 12	Knot 13	Knot 14
NO FIN		0,0100	0,0082	0,0075	0,0085
NACA 0018	0°	0,0110	0,0137	0,0027	0,0039
	3°	0,0038	0,0085	0,0039	0,0064
	5°	0,0083	0,0102	0,0025	0,0153
	7°	0,0043	0,0091	0,0081	0,0081
NACA 0021	0°	0,0055	0,0067	0,0046	0,0138
	3°	0,0057	0,0086	0,0036	0,0114
	5°	0,0049	0,0126	0,0055	0,0141
	7°	0,0043	0,0092	0,0074	0,0027

Dari Tabel 16 menyatakan bahwa hasil dari Probabilitas *deck wetness* untuk *sea state rough* mengalami nilai tertinggi berada pada variasi model *fin* NACA 0018 dengan sudut serang 5° kecepatan 14 knot yaitu 0,0153.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada penambahan *Fixed Bow Fin* pada kapal *Tanker* dapat didapatkan kesimpulan bahwa.

RMS *Heaving* pada semua variasi model mengalami peningkatan dari model kapal tanpa *fixed bow fin* dengan Persentase kenaikan RMS *heaving* terbesar yaitu pada *sea state moderate* dengan kecepatan kapal 11 knot pada model kapal dengan

Fin NACA 0021 sudut serang 3° sebesar 0,4930 m dengan kenaikan 7,49 % dari RMS *heaving* pada model tanpa *Fixed Bow Fin* pada kecepatan 11. RMS *Pitching* pada semua variasi model mengalami penurunan dari model kapal tanpa *fixed bow fin* dengan Persentase redaman yang paling terbaik yaitu pada *sea state slight* dengan kecepatan kapal 11 knot pada model kapal dengan *Fin* NACA 0021 sudut serang 3° sebesar $0,2506^\circ$ dengan penurunan 15,89 % dari RMS pada Model tanpa *Fixed Bow Fin* pada kecepatan 14 Knot. Tipe *fin*, sudut serang dan kecepatan berpengaruh terhadap peningkatan RMS *heaving* dan penurunan RMS *pitching* dengan variasi foli NACA 0021 sudut serang 3° dapat meredam *pitching* dengan baik dalam semua variasi kecepatan kapal dan semua kondisi perairan.

Probabilitas *slamming* dan *deck wetness* mendapatkan nilai yang masuk standar NORDFORSK 1987 yaitu 0,03 dan 0.05. Probabilitas *slamming* yang terbesar yaitu pada *sea state rough* model NACA 0018 sudut serang 5° dengan kecepatan kapal 14 knot sebesar $1,40 \times 10^{-6}$ dan paling rendah yaitu pada *sea state slight* model NACA 0021 sudut serang 7° dengan kecepatan kapal 14 knot sebesar $7,61 \times 10^{-23}$. Probabilitas *deck wetness* yang terbesar yaitu pada *sea state rough* model NACA 0018 sudut serang 5° dengan kecepatan kapal 14 knot sebesar 0,0153 dan paling rendah yaitu pada *sea state slight* model NACA 0021 sudut serang 7° dengan kecepatan kapal 14 knot sebesar $1,28 \times 10^{-7}$. Nilai probabilitas *slamming* dan *deck wetness* memiliki kesamaan karakteristik pada tiap *sea state* yaitu memiliki kesamaan variasi yang memiliki nilai terkecil dan terbesar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. Prakarsa, D. Chrismianto & M. Iqbal. "Analisa Pengaruh Sloshing Pada Ruang Muat Kapal Tanker Pertamina 17500 LTDW Dengan Metode CFD (Computational Fluid Dynamic)". *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(1). 2017.
- [2] R. Fadillah, A. F. Zakki & Kiryanto. "Analisa Fatigue Pada Kapal Tanker 6500 DWT Berdasarkan Common Structural Rules (CSR) berbasis *Finite Element Analysis* (FEA)". *Jurnal Teknik Perkapalan*, 8(4). 2020.
- [3] L. Huang et al. "Ship Pitch-Roll Stabilization by Active *Fins* Using a Controller Besed on Onboard Hydrodynamic Prediction," *Ocean*

Engineering, Vol.164, 212-227, September 2018.

- [4] R. Bhattacharyya. *Dynamics of Marine Vehicles*, 1st ed. New York: A Wiley Interscience Publication. 1978.
- [5] B. R. Reguram et al. *Fin Effect on Pitch Motion and the Avoidance of Initiation of Parametric Roll*, 4:11, 495 - 502, DOI: 10.17577/IJERTV4IS110414, 2015.
- [6] M., Ikhsan, P. Manik & M. Indriyanto. "Analisa Pengaruh Penambahan Hull Fixed *Fin* dengan Variasi Foil dan Sudut Serang terhadap Gaya Angkat dan Hambatan Kapal". *Jurnal Teknik Perkapalan*, 8(1). 2020.
- [7] Y. Yoshimura & M. Kanamoto. "Effect of Activated *Fin* on the Reduction of Pitching and Propulsive Performance," In Conf. Workshop on Environmental Technologies in Naval Architecture and Ocean Engineering, Hiroshima, 2016
- [8] H. Isshiki et al. "EEDI and Performance of a Ship under Rough Weather -Teachings from the Past-," *Proc of JASNAOE*, Japan, 2016, pp.253-268.
- [9] World Maritime Organization. "WMO-No. 8 Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation," in Part II Chapter 4, 2014th ed.
- [10] M. H. Ghaemi, & H. Olszewski. *Total Ship Operability-Review, Concept and Criteria*. *Polish Maritime Research*, vol.24, pp.74-81, DOI: 10.1515/pomr-2017-0024. 2017.