

PERBANDINGAN *SEAKEEPING* SEBELUM dan SESUDAH MODIFIKASI BENTUK LAMBUNG (STUDI KASUS. KM PROFF JIGGING)

Edy Haryanto¹, Siswandi B¹

Jurusan Teknik Perkapalan, Politeknik Negeri Bengkalis
Jl. Bathin Alam, Sungai Alam Bengkalis Riau – Indonesia 28711
Email: edyharyanto@polbeng.ac.id, siswandi@polbeng.ac.id

Abstrak

Proff Jigging merupakan sebuah kapal penumpang yang dimodifikasi panjang dan bentuk lambungnya. Tujuan modifikasi ini adalah mengubah fungsi dari kapal penumpang menjadi kapal kargo. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui kondisi olah gerak sebelum dan sesudah dimodifikasi menggunakan program simulasi Maxsurf, sehingga dengan mengetahui nilai pergerakan kapal dapat diketahui kondisi kapal jika mengalami gangguan akibat gelombang. Hasil evaluasi Sebelum dimodifikasi pada 0 knot kapal memiliki nilai amplitudo yang lebih besar pada gerakan roll RAO dengan nilai amplitudo sebesar 6.654 deg dan pitch RAO sebesar 2.013 deg. Setelah dilakukan modifikasi kapal memiliki nilai amplitudo terbesar pada pergerakan RAO heave dengan nilai amplitudo 1,206 m. Kemudian setelah dimodifikasi pada kecepatan 20 knot, kapal memiliki nilai amplitudo terbesar pada pergerakan RAO heave dengan nilai 2.058 m, RAO roll sebesar 6.684 deg dan pitch RAO sebesar 1.884 deg. Secara keseluruhan, hasil evaluasi setelah dimodifikasi memiliki kinerja pergerakan yang lebih baik dibandingkan dengan model sebelum modifikasi sebesar 6,8%.

Kata Kunci : *Seakeeping*, Amplitudo, Kapal, Modifikasi

Abstract

Prof Jigging is a passenger ship that has been modified in length and shape of the hull. The purpose of this modification is to change the function of a passenger ship into a cargo ship. The evaluation was carried out to determine the condition of the movement before and after being modified using the maxsurf simulation program, so that by knowing the value of the ship's movement, the condition of the ship can be known if it experiences disturbances due to waves. Evaluation results Before being modified at 0 knots the ship has a larger amplitude value in the RAO roll motion with an amplitude value of 6.654 deg and an RAO pitch of 2.013 deg. After modification, the ship has the largest amplitude value in the RAO heave movement with an amplitude value of 1,206 m. Then after being modified at a speed of 20 knots, the ship has the largest amplitude value in the RAO heave movement with a value of 2.058 m, RAO roll of 6.684 deg and RAO pitch of 1.884 deg. Overall, the evaluation results after being modified have a better movement performance compared to the model before the modification of 6.8%.

Keywords: Seakeeping, Amplitude, Ship, Modification

1. PENDAHULUAN

Kapal merupakan sebuah sarana yang digunakan untuk beroperasi diperairan baik sungai maupun laut. Sebagian besar kapal dirancang untuk beroperasi dilingkungan yang tidak dapat diduga kondisinya karena angin dan ombak. Teori *seakeeping* mempelajari gerakan kapal yang berada dipermukaan air terhadap gelombang, Analisis *seakeeping* adalah prosedur untuk menghitung metrik kinerja kapal terkait dengan misi dan kondisi lingkungan di mana kapal beroperasi [12]. *Seakeeping* atau olah gerak kapal sangat erat hubungannya dengan jenis, ukuran dan bentuk lambung kapal

dimana setiap bentuk dan ukuran kapal akan memberikan olah gerak yang berbeda pada kapal jika mengalami gangguan yang disebabkan oleh angin dan ombak/gelombang. Efek parameter kapal seperti dimensi kapal sangat mempengaruhi *seakeeping* sehingga bentuk lambung akan mempengaruhi olah gerak kapal [5] [10]. Semakin ringan kapal, kriteria *seakeeping* akan lebih buruk. Korelasi antara *seakeeping* dan resistansi kapal dalam rasio S/L konstan terletak pada fluktuasi WSA serta akselerasi kapal [11].

Kapal Proff Jigging merupakan sebuah kapal yang telah beralih fungsi dari tipe kapal penumpang dimodifikasi menjadi kapal barang. Modifikasi yang dilakukan adalah

dengan merubah bentuk lambungnya sehingga parameter dimensi kapal mengalami perubahan. Pada operasional sebelumnya kapal ini beroperasi dari Bengkalis menuju Pekanbaru, akan tetapi dikarenakan perubahan fungsi yang telah dilakukan, maka kapal ini direncanakan beroperasi untuk membawa barang-barang dari pulau Bengkalis ke Tanjung Balai Karimun-Kepulauan Riau (Kepri). Kondisi perairan di Riau-Kepri ini melewati selat Melaka yang tinggi gelombangnya lumayan besar dan biasa dilewati oleh kapal yang berukuran 38 meter. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan analisa terkait “Pengaruh Modifikasi Buritan *Speedboat* Terubuk Express terhadap Kecepatan Kapal” pada analisa yang dilakukan membahas tentang kecepatan kapal setelah kapal dimodifikasi dan mendapatkan kesimpulan bahwa perubahan bentuk buritan pada *speedboat* Terubuk Express menyebabkan hambatan total kapal bertambah sebesar 1,05%, dimana pada kecepatan 35 knot sebelum perubahan hambatan totalnya 33,5 kN sedangkan setelah perubahan hambatan totalnya menjadi 35,1 kN dan Setelah dimodifikasi L/B meningkat sebesar 1,2 %. Peningkatan perbandingan nilai L/B tersebut dapat mempengaruhi kemampuan olah gerak dan stabilitas kapal [7]. Melanjutkan penelitian sebelumnya, maka pada penelitian ini dilakukan analisa terkait dengan perubahan olah gerak kapal atau *seakeeping* akibat modifikasi lambung kapal dengan tujuan untuk mengetahui kondisi olah gerak yang terjadi pada kapal sebelum dan sesudah dimodifikasi sehingga dengan mengetahui nilai olah gerak kapal maka dapat diketahui kondisi kapal jika mengalami gangguan yang disebabkan gelombang. Perubahan geometri akibat modifikasi lambung membuat Parameter hidrostatis berubah dengan perubahan draft. *Displacement*, A_w , LCF, dan koefisien bentuk bertambah dengan penambahan draft. Titik-titik LCB dan LCF semakin berdekatan dengan bertambahnya draft [8].

2. METODE

Penelitian yang dilakukan membahas terkait dengan olah gerak kapal setelah dilakukan modifikasi terhadap lambung dan bentuknya, sehingga dilakukan perbandingan kriteria olah gerak sebelum dan sesudah kapal dimodifikasi. Perkembangan metode perancangan kapal sangat dipengaruhi oleh perkembangan teknologi dan penggunaan CAD. *Software* Maxsurf digunakan untuk membuat bentuk lambung, simulasi model untuk mengetahui gaya hidrodinamik kapal. Selain untuk membuat model dan olah gerak kapal, *software* ini juga dapat digunakan untuk mengetahui stabilitas, tahanan dan daya kapal, menghitung stabilitas kapal, persyaratan daya, untuk memastikan kenyamanan awak dan penumpang di berbagai kondisi laut. [2] Penelitian ini melakukan evaluasi perbandingan *seakeeping* atau olah gerak model kapal dengan menggunakan Maxsurf *motion* untuk mengetahui perubahan gerakan kapal sebelum dan sesudah dimodifikasi pada saat menerima pengaruh dari luar yaitu gelombang.

Metode ini secara kasar dapat menangkap gerakan *manuver* dan berguna untuk prediksi manuver dalam skala penuh. Suatu metode disajikan untuk menghitung tahanan kapal cepat harus dengan mempertimbangkan efek dan trim serta viskositas fluida. Bidang aliran permukaan bebas dievaluasi dengan memecahkan persamaan Navier-Stokes (RANS) rata-rata Reynolds [13].

Sesuai dengan fungsinya saat ini yaitu menjadi kapal barang maka pada kapal tersebut memiliki ruang palka untuk barang dan kapasitas angkut barang. Adanya ruang palka untuk barang dan perbedaan muatan pada sebelumnya maka akan mempengaruhi terhadap tinggi sarat kapal, jika terjadi perubahan sarat kapal maka *displacement* kapal juga ikut berubah. Dengan perubahan *displacement*, sarat panjang dan bentuk buritan kapal ini.

Berdasarkan permasalahan tersebut, pada kesempatan ini peneliti melakukan analisa

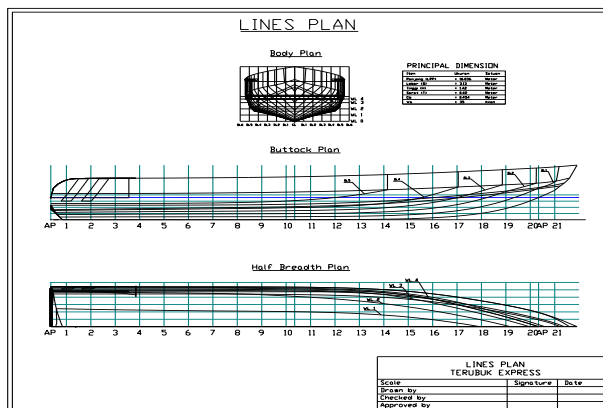
terkait “pengaruh perubahan *principal dimension* kapal terhadap karakteristik olah gerak kapal”. Diharapkan hasil dari penelitian ini nanti dapat dijadikan sebagai referensi dalam penerapannya dilapangan terkait operasional kapal.

2.1 Model Kapal

Tahap menghitung perbandingan olah gerak kapal sebelum dan sesudah dimodifikasi, terlebih dahulu dilakukan penggambaran model kapal. Model kapal sebelum dimodifikasi memiliki ukuran seperti yang terlihat pada Tabel 1. Bentuk model lambung kapal awal seperti terlihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal Awal

Item	Ukuran	Satuan
Panjang (L)	16,036	Meter
Lebar (B)	3,13	Meter
Tinggi Geladak (H)	1,42	Meter
Sarat Air (T)	0,42	Meter
Cb	0,454	Meter



Gambar 1. Lines Plan Kapal Sebelum Dimodifikasi



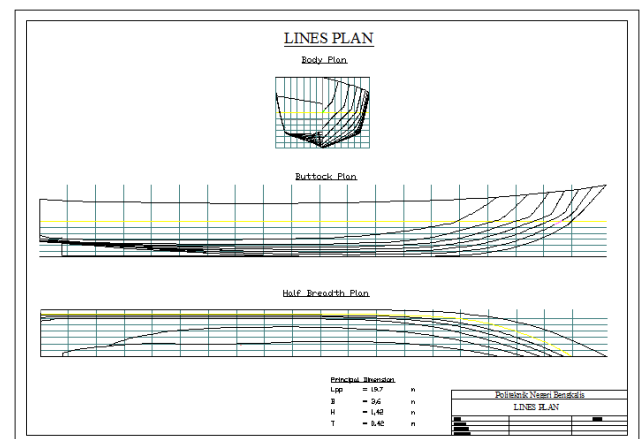
Gambar 2. Model Lambung Kapal Sebelum Dimodifikasi

Gambar 1 merupakan rencana garis (*lines plan*) kapal sebelum di modifikasi pada gambar tersebut terlihat bahwa model lambung kapal didesain untuk tipe kapal penumpang. Lebih jelas bentuk model kapal sebelum dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.

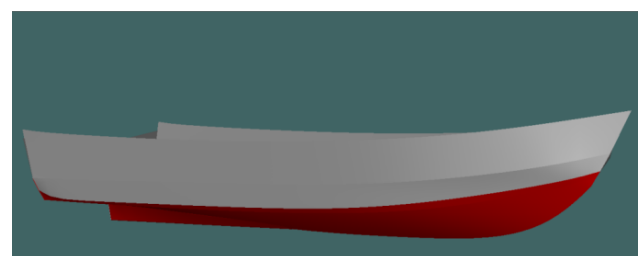
Model yang berikutnya yaitu model kapal sesudah di modifikasi memiliki ukuran seperti terlihat pada Tabel 2. Bentuk model lambung setelah dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Tabel 2. Ukuran Utama Kapal Sesudah Dimodifikasi

Item	Ukuran	Satuan
Panjang (L)	19.7	meter
Lebar (B)	3.6	meter
Tinggi Geladak (H)	2.21	meter
Sarat Air(T)	1.135	meter



Gambar 3. Lines Plan Kapal Proff Jigging Sesudah Dimodifikasi



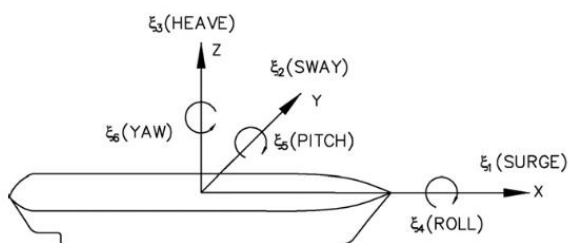
Gambar 4. Model Lambung Kapal Proff Jigging Sesudah Dimodifikasi

Gambar 3 merupakan rencana garis (*lines plan*) model kapal setelah dimodifikasi, dimana terjadi beberapa perubahan dimensi ukuran pada lambung sebelumnya seperti yang terlihat pada tabel 2. Setiap perubahan

dimensi ukuran dan bentuk kapal akan mempengaruhi performa kapal tersebut. Dimana perubahan panjang, lebar dan sarat kapal akan sangat mempengaruhi terhadap luas permukaan basah lambung kapal (WSA). Dengan adanya perubahan WSA ini maka performa kapal juga akan ikut berubah. Dari segi bentuk kapal setelah dimodifikasi mengalami perubahan pada bagian buritan kapal dimana pada buritan ini didesain bahwa kapal akan menggunakan mesin dalam kapal (*inboard engine*).

2.2 Evaluasi Seakeeping

Seakeeping merupakan kemampuan respon gerakan kapal di gelombang, sehingga kemampuan ini jelas merupakan aspek penting dalam hal perancangan kapal (*Ship Design*). Dalam perencanaan kapal, kualitas kinerja kapal merupakan bagian yang menjelaskan keadaan dimana kapal oleng atau tenggelam pada tiap kondisi gelombang dapat diketahui secara pasti bahkan dalam kondisi ekstrim sekalipun. Pada dasarnya kapal yang berada diatas permukaan laut akan selalu memperoleh gaya eksternal yang menyebabkan kapal bergerak (*ship movement*). Gerakan kapal ini disebabkan adanya tiga area dari luar terutama oleh gelombang. Dalam memperoleh perlakuan dan gelombang kapal mengalami dua jenis gerak yaitu gerakan rotasi dan translasi seperti yang terlihat pada Gambar 5. Gerakan rotasi meliputi *rolling*, *pitching*, *yawing*, sedangkan gerakan translasi meliputi *surging*, *swaying*, *heaving*.



Gambar 5. Gerakan Rotasi dan Translasi

Penelitian ini melakukan evaluasi dan membandingkan kedua model lambung terhadap tiga gerakan kapal yaitu gerakan *heave*, *roll* dan *pitch*. Gerakan *heaving* merupakan gerak linear (naik-turun) kapal pada arah sumbu Z persamaan umum kapal pada kondisi *heaving* ialah:

$$a\ddot{z} + b\dot{z} + cz = F_o \cos \omega_e t \tag{1}$$

Inertial Force $F_a = -a\ddot{z}$
Damping Force $F_b = b\dot{z}$
Restoring Force $F_c = cz$
Exciting Force $F_a = F_o \cos \omega_e t$

Gerakan *rolling* merupakan gerakan oleng kapal kearah kiri dan kanan kapal. kondisi *rolling* kapal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$a \frac{d^2 \phi}{dt^2} + a \frac{d\phi}{dt} + c\phi = M_o \cos \omega_e t \tag{2}$$

Inertial Moment $= a \frac{d^2 \phi}{dt^2}$
Damping Moment $= a \frac{d\phi}{dt}$
Restoring Moment $= c\phi$
Exciting moment $= M_o \cos \omega_e t$

Gerakan *pitch* merupakan gerakan memanjang kapal dengan arah sumbu Y berupa anggukan dari buritan ke haluan atau sebaliknya. Gerakan *pitching* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$d\ddot{\theta} + e\dot{\theta} + h\theta = M_o \cos \omega_e t \tag{3}$$

Inertial Moment $= d \frac{d^2 \theta}{dt^2}$
Damping Moment $= e \frac{d\theta}{dt}$
Restoring Moment $= h\theta$
Exciting Moment $= M_o \cos \omega_e t$

Respon gerakan kapal terhadap gelombang reguler dinyatakan dalam RAO (*Response Amplitude Operator*), dimana RAO adalah rasio antara amplitudo gerakan kapal (baik translasi maupun rotasi) terhadap amplitudo gelombang pada frekuensi tertentu.

2.3 Evaluasi Spektrum Gelombang

Statistik gelombang di laut bisa dipergunakan untuk menentukan batasan

tinggi gelombang, periode dan arah yang mungkin akan dihadapi untuk beberapa waktu tertentu. Kondisi gelombang ditunjukkan oleh tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode puncak spektral (T_p). Kerapatan spektrum dari proses peningkatan kondisi laut dapat diwakili dengan spektrum JONSWAP. Spektrum yang cocok untuk perairan dangkal, perairan pantai dan perairan tertutup adalah spektrum JONSWAP. Berikut ini rumus JONSWAP:

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

$S(\omega)$ = spektrum gelombang
 = parameter puncak (*peakness parameter*)
 = parameter bentuk (*shape parameter*)

Untuk $\omega \leq \omega_0 = 0,07$ dan $\omega \geq \omega_0 = 0,09$.
 $\alpha = 0,0076 (X_0)^{-0,22}$, untuk X_0 tidak diketahui
 $\alpha = 0,0081$.

Evaluasi olah gerak kapal dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf Motion dengan data diperoleh dari *Hydrostatic Properties Computation* (HPC) dan kondisi lapangan seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Input Software Maxsurf Motion

No	Input Data	HPC
1	Maksimum Draft	1.135
2	Number of Mapped Section	91
3	Vessel Type	Monohull
4	Spektra	JONSWAP
	Char. Height	0.5 m – 2 m
	Modal Periodic	10 s
5	Heading	00, 450, 900, 1350, dan 1800
6	Speed	0 knot, 20 knot

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan olah gerak kapal pada lambung sebelum dan sesudah dimodifikasi dilakukan pada 2 kondisi yaitu pada kondisi diam atau kecepatan 0 knot dan pada kondisi bergerak yakni pada kecepatan 20 knot dengan gerakan yang dievaluasi adalah gerakan *heave*, *roll* dan *pitch*.

Standar kriteria olah gerak kapal terdapat pada gerakan *roll* seperti yang dijelaskan oleh standar kriteria Nordforsk 1986 mensyaratkan ketentuan seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Standar Kriteria Nordforsk 1987

Descriptions	Merchant Ships
RMS of vertical acceleration at FP	0,275 g ($L \leq 100$ m) 0,05 g ($L \geq 330$ m) ^a
RMS of vertical acceleration at bridge	0,15 g
RMS of lateral acceleration at bridge	0,12 g
RMS of Roll	6,0 ⁰
Probability of slamming criteria	0,03 ($L \leq 100$ m) 0,01 ($L \geq 300$ m) ^b
Probability of deck wetness criteria	0,05

Pada Tabel4 dapat diketahui standar nilai gerakan *roll* yang baik sehingga berdasarkan kriteria tersebut dapat dilakukan perbandingan antara model kapal sebelum dan sesudah dimodifikasi.

3.1 Perbandingan Seakeeping RAO Kecepatan 0 Knot

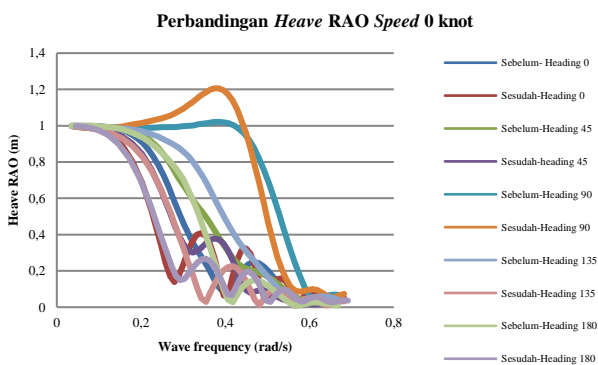
Evaluasi *seakeeping* pada model kapal dilakukan pada dua kondisi yaitu pada kecepatan 0 knot dan kecepatan service yaitu 20 knot. Hasil evaluasi dengan menggunakan Software Maxsurf Motion menghasilkan data nilai puncak *seakeeping* RAO pada setiap *heading* gelombang dan grafik amplitudo gerakan RAO. Data nilai puncak *seakeeping* RAO setiap *heading* pada kecepatan 0 knot dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Puncak Seakeeping RAO Kecepatan 0 Knot

Wave Heading (deg)	Heave RAO	Roll RAO	Pitch RAO
Kapal Sebelum Dimodifikasi			
0	1	0	2.013
45	0.998	4.705	1.713
90	1.021	6.654	0.759
135	0.998	4.705	0.919
180	1	0	1.233
Kapal Sesudah Dimodifikasi			
0	0.992	0	1.203

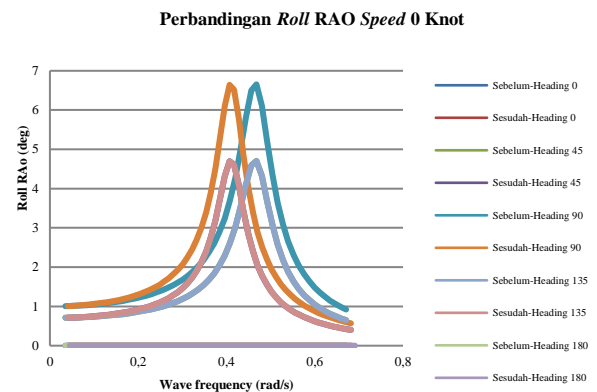
Wave Heading (deg)	Heave RAO	Roll RAO	Pitch RAO
45	0.998	4.312	0.929
90	1.206	6.642	0.315
135	0.994	4.312	0.681
180	0.992	0	0.983

Pada Tabel 5 tersebut dapat diketahui bahwa pada kondisi 0 knot nilai *seakeeping* RAO untuk gerakan *heave*, *roll* dan *pitch* model kapal setelah dimodifikasi memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan model kapal sebelum dimodifikasi. Kemudian hasil dari evaluasi *seakeeping* juga menghasilkan grafik *seakeeping* RAO untuk gerakan *heave*, *roll* dan *pitch*. Grafik *heave* RAO pada kecepatan 0 knot dapat dilihat pada Gambar 6.



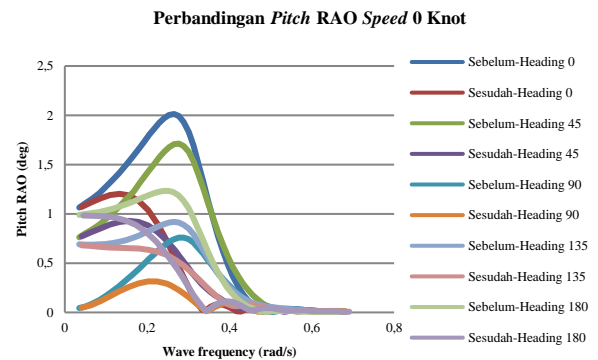
Gambar 6. Heave RAO pada Kecepatan 0 Knot

Pada gambar 6 dapat diketahui bahwa pada kondisi kecepatan 0 knot tepatnya pada heading 90 deg terjadi gerakan maksimum *heave* RAO untuk kedua model kapal, pada model kapal setelah dimodifikasi memiliki gerakan *heave* sedikit lebih besar dibandingkan dengan model kapal sebelum dimodifikasi dengan nilai puncak maksimum sebesar 1.206 m. Grafik gerakan roll RAO dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Roll RAO pada Kecepatan 0 Knot

Gambar 7 menunjukkan perbandingan gerakan *roll* RAO kapal sebelum dan sesudah di modifikasi pada kecepatan 0 knot. Berdasarkan grafik gerakan maksimum *roll* RAO terbesar terjadi pada model kapal sebelum di modifikasi tepatnya pada heading 90 deg dengan nilai puncak 6.654 deg. Artinya setelah dimodifikasi gerakan *roll* kapal menjadi lebih baik. Kemudian untuk grafik gerakan *pitch* RAO model kapal dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pitch RAO pada Kecepatan 0 Knot

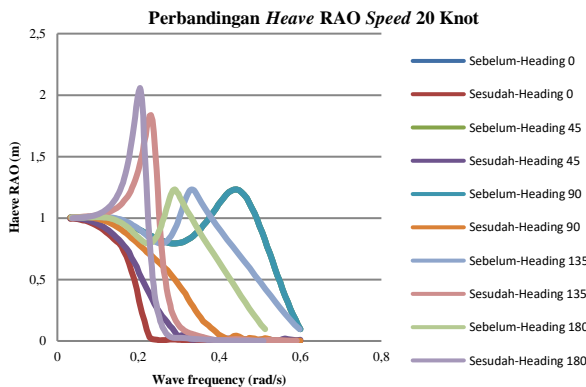
Gambar 8 menjelaskan bahwa maksimum gerakan *pitch* RAO terjadi pada kapal sebelum dimodifikasi terjadi pada heading gelombang 0 deg dengan nilai *pitch* RAO sebesar 1.233 deg.

Kemudian pada evaluasi model kapal pada kecepatan 20 knot didapatkan data nilai puncak *seakeeping* RAO setiap heading pada kecepatan 20 knot. Adapun nilai puncak *seakeeping* RAO pada kecepatan 20 knot dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Puncak *Seakeeping RAO* Kecepatan 20 Knot

Wave Heading (deg)	Heave RAO	Roll RAO	Pitch RAO
Kapal Sebelum Dimodifikasi			
0	1.233	6.66	0.559
45	1.233	6.66	0.559
90	1.233	6.66	0.559
135	1.233	6.66	0.795
180	1.233	6.66	1.04
Kapal Sesudah Dimodifikasi			
0	1.003	0	1.884
45	1.003	4.716	1.038
90	1.033	6.684	0.42
135	1.838	4.606	1.146
180	2.058	0	1.502

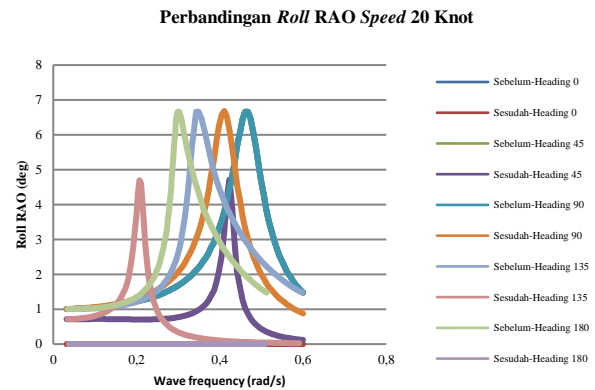
Pada kondisi bergerak atau kecepatan 20 knot grafik *amplitude* seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. *Heave RAO* pada Kecepatan 20 Knot

Pada Gambar 9 dapat diketahui perbandingan hasil evaluasi *seakeeping* dari kedua model kapal ialah bahwa gerakan *heave RAO* terbesar pada model kapal sesudah dimodifikasi dimana titik puncak tertinggi terjadi pada *heading* gelombang 180 deg dengan nilai sebesar 2.058 m.

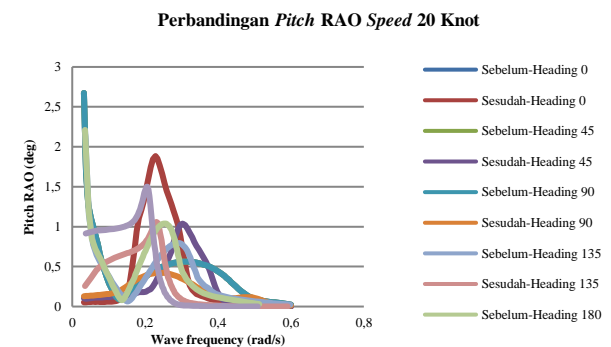
Grafik *amplitude* gerakan *roll RAO* pada kecepatan 20 knot dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. *Roll RAO* pada Kecepatan 20 Knot

Gambar 10 menunjukkan bahwa maksimum gerakan *roll RAO* terbesar pada kecepatan 20 knot terjadi pada model kapal setelah dimodifikasi pada *heading* 90 deg. Nilai *amplitude* maksimum gerakan *roll RAO* sebesar 6.684 deg.

Evaluasi berikutnya menghasilkan gerakan *pitch RAO* pada kecepatan 20 knot. Adapun Grafik *amplitude* gerakan *pitch RAO* dapat dilihat pada Gambar 11.



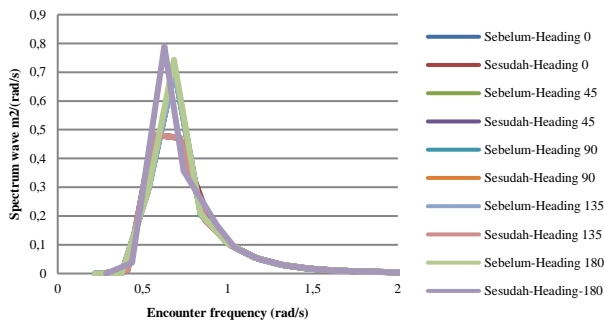
Gambar 11. *Pitch RAO* pada Kecepatan 20 Knot

Gambar 11 menunjukkan perbandingan evaluasi model kapal sebelum dan sesudah dimodifikasi bahwa maksimum gerakan *pitch RAO* terbesar pada kecepatan 20 knot terjadi pada model kapal setelah dimodifikasi pada *heading* 0 deg. Nilai *amplitude* maksimum gerakan *pitch RAO* sebesar 1.884 deg.

3.2 Perbandingan *Spectrum Wave*

Evaluasi spektrum gelombang model kapal menghasilkan *output* dari spektrum untuk tiap *station* diambil salah satu tabel spektrum gelombang pada *heading* 0, 45, 90,

135 dan 180 deg pada kecepatan 0 dan 20 knot.



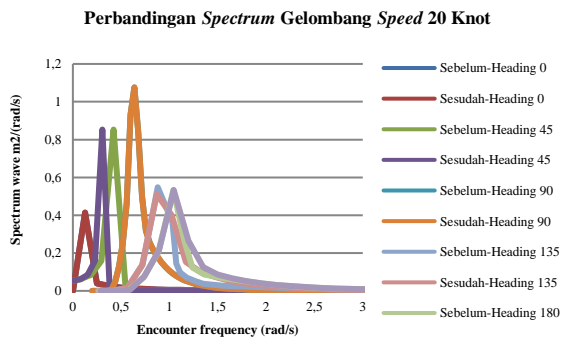
Gambar 12. Spectrum Wave Kecepatan 0 Knot

Gambar 12 merupakan grafik perbandingan spektrum gelombang model kapal sebelum dan sesudah dimodifikasi pada kecepatan 0 knot. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa maksimum spektrum gelombang terjadi pada model kapal sebelum dimodifikasi. Nilai *amplitude* spektrum gelombang kecepatan 0 knot dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Spectrum Wave Kecepatan 0 Knot

Wave Heading (deg)	Spectrum wave (m ² /(rad/s))	
	Sebelum	Sesudah
0	0.708	0.483
45	0.708	0.483
90	0.708	0.483
135	0.708	0.483
180	0.743	0.357

Evaluasi spektrum gelombang pada kecepatan 20 knot seperti terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Spectrum Wave Kecepatan 20 Knot

Gambar 13 menunjukkan bahwa pada kecepatan 20 knot kedua model kapal mempunyai gerakan maksimum spektrum gelombang yang sama yaitu terjadi pada heading 90 deg. Nilai *amplitude spectrum* gelombang pada kecepatan 20 knot dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Spectrum Wave Kecepatan 20 Knot

Wave Heading (deg)	Spectrum Wave (m ² /(rad/s))	
	Sebelum	Sesudah
0	0.414	0.414
45	0.853	0.853
90	1.076	1.076
135	0.548	0.51
180	0.534	0.533

Berdasarkan hasil evaluasi perbandingan gerakan kapal dari kedua model lambung berdasarkan Standar *criteria* Nordforsk 1987 bahwa *limit criteria* gerakan *roll* sebesar 6 deg maka dari kedua model lambung dapat diketahui bahwa pada kecepatan 0 knot model lambung setelah dimodifikasi memiliki nilai *roll* yang lebih kecil pada setiap *heading wave* atau sudut gelombang datang, kemudian pada kecepatan 20 knot model kapal setelah dimodifikasi juga memiliki nilai *roll* yang lebih kecil pada sudut 0 deg, 45 deg, 135 deg dan 180 deg, hanya pada sudut 90 deg nilai *roll* sedikit lebih besar dari kondisi ini dapat diketahui bahwa model kapal setelah dimodifikasi memiliki performa *seakeeping* yang lebih baik dibanding dengan model sebelum dimodifikasi.

4. KESIMPULAN

Evaluasi *seakeeping* model kapal sebelum dan sesudah dimodifikasi didapat nilai *amplitude* gerakan *heave* RAO, *roll* RAO dan *Pitch* RAO serta spektrum gelombang pada kecepatan 0 knot dan 20 knot sebagai berikut: 1). Pada kecepatan 0 knot model kapal sebelum dimodifikasi memiliki nilai *amplitude* yang lebih besar pada gerakan *roll* RAO dengan nilai *amplitude* sebesar 6.654 deg, *pitch* RAO sebesar 2.013 deg dan

spectrum gelombang sebesar 0.708 m²/(rad/s). Sedangkan model kapal sesudah dimodifikasi memiliki nilai *amplitude* terbesar pada gerakan heave RAO dengan nilai *amplitude* sebesar 1.206 m. 2). Pada kecepatan 20 knot model kapal sebelum dimodifikasi memiliki nilai terbesar pada *spectrum* gelombang. Sedangkan model kapal sesudah dimodifikasi memiliki nilai *amplitude* terbesar pada gerakan *heave* RAO dengan nilai sebesar 2.058 m, roll RAO sebesar 6.684 deg dan *pitch* RAO sebesar 1.884 deg. 3). Model kapal setelah dimodifikasi memiliki performa *seakeeping* yang lebih baik dibanding dengan model sebelum dimodifikasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kepada seluruh tim peneliti kami ucapkan banyak terimakasih atas kontribusi dalam penelitian ini. Kepada Jurusan Teknik Perkapalan yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Acanfora, M., Begovic, E. and De Luca, F., 2019. A Fast Simulation Method for Damaged Ship Dynamics. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(4), p.111
- [2] Bantley, MAXSURFCONNECT Edition V21.13.00ReadMe26 June 2018
- [3] Bassler, C.C., 2013. *Analysis and modeling of hydrodynamic components for ship roll motion in heavy weather* (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- [4] E.B. Djatmiko, "Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak". ITS-Press.Surabaya. Indonesia, 2012.
- [5] E. Sarios, *Inverse design of ship hull forms for seakeeping*, *Ocean engineering*, vol 36, pp 1386-1395, 2009.
- [6] Harvard, S.V.AA., (1992). *Hambatan dan Propulsi Kapal*. Dept Of Ocean Eng. The Technical university of Denmark Lyngby, Airlangga University press.
- [7] Haryanto, E., 2018. Pengaruh Modifikasi Buritan Speed Boat Terubuk Express 6 Terhadap Kecepatan Kapal. *Inovtek Polbeng*, 8(2), pp.297-303.
- [8] Kantu, L., Kalangi, P.N. and Polii, J.F., 2013. Desain dan parameter hidrostatis kasko kapal fiberglass tipe pukut cincin 30 GT di galangan kapal CV Cipta Bahari Nusantara Minahasa Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan Tangkap*, 1(3).
- [9] O. Sadik, S. Bekir and Y. Huseyin, "A parametric study on seakeeping assesment of fast ship in conceptual design stage", *Ocean Engineering*, vol. 38, pp 1439-1447, 2011.
- [10] Poundra, G.A.P., Utama, I.K.A.P., Hardianto, D. and Suwasono, B., 2017. Optimizing Trimaran Yacht Hull Configuration Based on Resistance and Seakeeping Criteria. *Procedia engineering*, 194, pp.112-119
- [11] T. Perez, "Ship Seakeeping Operability, Motion Control and Autonomy – A Bayesian Perspective", IFAC-PaperOnLine 48-16, pp 217-222, 2015.
- [12] Yao, C.B. and Dong, W.C., 2012. Method to calculate resistance of high-speed displacement ship taking the effect of dynamic sinkage and trim and fluid viscosity into account. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 17(4), pp.421-426.
- [13] Zhang, B.J. and Miao, A.Q., 2015. The design of a hull form with the minimum total resistance. *Journal of Marine Science and Technology*, 23(5), pp.591-597.