



Tinjauan Stabilitas dan Olah Gerak Hasil Modifikasi Kapal Ikan Tambak Lorok Bermaterial Kayu Menjadi *Fibreglass* dengan Nilai DWT Tetap

Anggy Prasetyo^{1*}, Wilma Amiruddin¹⁾, Deddy Chrismianto¹⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*e-mail : anggyprasetyo34@gmail.com

Abstrak

Material kayu sebagai material yang digunakan dalam pembuatan kapal ikan Tambak Lorok memiliki berbagai keterbatasan. Tujuan dari penelitian ini adalah memodifikasi jenis kapal ikan tersebut dari bangunan bermaterial kayu ke material *fibreglass* dengan mempertahankan nilai DWT kapal, yang kemudian melihat perbandingan nilai stabilitas dan olah geraknya. Diperoleh hasil modifikasi yang dimaksud ke dalam dua bentuk variasi yakni kapal Round Bottom dan kapal V-Bottom yang lebih ringan 49% sebesar 0,403 ton. Metode yang diterapkan untuk analisa stabilitas adalah A.N-Krylov, sedangkan metode untuk analisa olah gerak yang diterapkan adalah Strip Theory Method. Pengujian performa ketiga kapal dinilai menurut kriteria IMO untuk stabilitas dan kriteria Tello untuk olah gerak kapal. Diperoleh hasil terendah sebesar 0,182 m pada kondisi II kapal ikan Tambak Lorok dalam parameter nilai maksimum GZ sudut oleng $\theta \geq 30^\circ$, dan pada kondisi IV dalam parameter tinggi GMt diperoleh nilai terendah sebesar 0,302 m. Kinerja olah gerak kapal Round Bottom lebih baik dibandingkan dengan kapal V-Bottom dengan selisih hasil tidak terpaut jauh berbeda. Terhadap parameter RMS of pitch diperoleh 2,74° pada sudut 180° arah datangnya gelombang dan pada parameter RMS of roll diperoleh 5,10° pada sudut 90° arah datangnya gelombang.

Kata Kunci : Kapal Tambak Lorok, Modifikasi, *Fibreglass*

1. PENDAHULUAN

Desa nelayan Tambak Lorok atau lebih dikenal dengan julukan Kampung Bahari Tambak Lorok yang berlokasi di Kelurahan Tanjung Mas Kecamatan Semarang Utara merupakan pemukiman nelayan yang sudah ada sejak 1950. Berbatasan langsung dengan Laut Utara Jawa menjadikan nelayan sebagai salah satu komoditas masyarakat setempat. Untuk menunjang kegiatan masyarakat sebagai nelayan, sarana yang digunakan adalah kapal ikan tradisional berukuran kecil yang bermaterialkan kayu. Baik bentuk, ukuran, maupun konstruksi kapal ikan tradisional merupakan hasil dari buah tangan pengrajin kapal tradisional yang mayoritas dipesan oleh nelayan setempat dengan desain yang sama. Desain kapal ikan tradisional yang digunakan tidak melalui proses tahapan analisa perhitungan melainkan hasil

dari ketrampilan yang diperoleh dari pengalaman pembuatan yang dilakukan oleh pengrajin kapal tradisional terdahulu.

Material kayu yang selama ini digunakan sebagai bahan baku untuk membuat kapal ikan tradisional memiliki keterbatasan, yakni ketersediaannya di alam yang semakin berkurang. Dalam penelitian yang dilakukan di Kabupaten Batang, kebutuhan jumlah kayu untuk produksi kapal dengan ukuran mulai dari 5-40 GT meningkat setiap tahunnya [1]. Pengeksplotasian kayu secara terus-menerus dikhawatirkan dapat merusak ekosistem dan berdampak luas secara global. Alternatif yang dapat dilakukan salah satunya dengan mengganti material kayu menjadi *fibreglass* sebagai bahan baku untuk membuat kapal. Penelitian ini dilakukan dengan maksud memberikan ide desain kapal dengan material *fibreglass* yang lebih baik dan menguntungkan

baik dari segi ekonomis maupun secara teknis dari kapal yang sudah ada kepada masyarakat setempat. Ide desain kapalnya adalah dengan merubah material serta memodifikasi pada lambung kapal namun dengan tetap mempertahankan ukuran utama awal kapal Tambak Lorok. Ide desain kapal yang ke dua adalah dengan perubahan material serta modifikasi pada lambung kapal namun dengan tetap mempertahankan DWT awal kapal Tambak Lorok. Penelitian ini akan berfokus pada ide desain kapal yang ke dua.

Perubahan material dari kayu menjadi *fibreglass*, serta dengan DWT awal kapal yang dipertahankan akan berefek pada pengurangan berat kapal. Berubahnya letak serta posisi tangki penyimpanan yang berpengaruh terhadap titik G, B, dan M pada kapal. Bentuk lambung kapal ikan Tambak Lorok yang semula berbentuk U dimodifikasi sehingga memiliki bentuk *round bottom* dan *V bottom* serta memiliki transom pada buritan kapal *fibreglass*. Modifikasi pada lambung kapal yang dilakukan akan berdampak terhadap olah gerak kapal, sehingga perlu dilakukan analisa. Pentingnya dilakukan analisa ini tentu karena faktor keselamatan kapal serta nelayan merupakan hal yang utama untuk menunjang kesuksesan suatu operasi penangkapan ikan, karena profesi sebagai nelayan merupakan salah satu profesi yang berbahaya dengan tingkat kecelakaan yang tinggi. Menurut *Internasional Labour Organisation (ILO)*, profesi menangkap ikan memiliki tingkat kematian di seluruh dunia sebesar 80 per 100.000 pekerja atau sekitar 24.000 kematian per tahun, dan diperkirakan ada 24 juta kecelakaan *non-fatal* di sektor ini setiap tahunnya [2]. Berdasarkan data statistik hasil investigasi KNKT, 31% kecelakaan pelayaran melibatkan kapal penangkap ikan, dari 129 kecelakaan yang terjadi selama periode 2017-2021 [3].

Faktor-faktor yang mempengaruhi penilaian stabilitas pada hasil penelitian sebelumnya, dari analisa kurva GZ desain *Small Fishing Boat* yang dikembangkan diperoleh rata-rata nilai area GZ tiap kondisi yang ditetapkan, yakni pada θ ($0^\circ - 30^\circ$) : 0,116 m.rad, area GZ pada θ ($0^\circ - 40^\circ$) : 0,191 m.rad, area GZ pada θ ($30^\circ - 40^\circ$) atau *downflooding point*: 0,075 m.rad, maximum GZ pada $\theta \geq 30^\circ$: 0,901 m, pada sudut maksimum GZ : 77,67 deg, dan GM_t : 1,215 m [4]. Semakin luas area dibawah kurva berarti semakin besar momen penegak yang terjadi, sehingga memungkinkan kapal untuk melawan *heeling* yang lebih besar. Hasil penelitian sebelumnya terhadap olah gerak kapal salah satu yang mempengaruhi antara lain *roll motion*. Analisa *roll motion* yang dilakukan pada kapal *Patrol Speed Boat "Grass Carp"* dalam keadaan diam didapatkan nilai terbesar 5,29 deg

(*head wave* μ : 90°) dan nilai terendah 3,74 deg (*head wave* μ : 45° dan 135°). Ketika kapal beroperasi pada kecepatan 9,1 knot didapatkan nilai terbesar 5,29 deg (*head wave* μ : 90°) dan nilai terendah 2,27 deg (*head wave* μ : 45°) [5].

Perbandingan analisa ekonomis pada pembangunan kapal dengan material kayu dan *fibreglass* yang dilakukan di Kabupaten Gresik disimpulkan hasil bahwa usaha pembuatan kapal *fibreglass* layak dikembangkan. Hal ini dikarenakan pembuatan kapal *fibreglass* lebih mudah dalam pemenuhan kebutuhan material utama maupun material pendukung, serta jangka waktu pembuatan kapal *fibreglass* yang lebih singkat [6]. Perubahan material kayu menjadi *fibreglass* dapat memberikan efek samping yakni masyarakat lebih diuntungkan dari segi ekonomis.

Kondisi yang disebutkan lantas menjadi tujuan melakukan penelitian untuk membuat desain kapal dengan mengkonversi material kapal dari semula berbahan dasar kayu menjadi *fibreglass* dengan tetap mempertahankan DWT awal kapal ikan Tambak Lorok. Metode yang digunakan dalam analisa stabilitas pada analisa stabilitas yakni *A.N-Krylov* dan pada analisa olah gerak kapal menerapkan *Strip theory method*, dimana keduanya dikerjakan menggunakan *software Maxsurf*. Hasil yang diperoleh dinilai dengan kriteria stabilitas dan olah gerak kapal ikan yang sudah ditentukan. Kriteria standar stabilitas IMO yang dipakai didasarkan pada rekomendasi keselamatan untuk kapal penangkap ikan dengan dek panjang kurang dari 12 meter dan kapal penangkap ikan tanpa dek [7]. Kriteria *seakeeping Tello* digunakan sebagai pertimbangan untuk menilai kinerja olah gerak kapal ikan [8].

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Penelitian tentang material *fibreglass* pada kapak ikan Tambak Lorok yaitu memodifikasi bentuk lambung dan ukuran utamanya, dengan nilai DWT yang sama. Modifikasi bentuk model lambung kapal yang dibuat mengambil bentuk lambung *Round Bottom dan V-Bottom* dengan tambahan *transom* untuk bentuk buritannya. Berkurangnya berat kapal kosong dikarenakan perubahan material yang terjadi, tentu berpengaruh terhadap titik-titik stabilitas kapal. Hal ini turut mempengaruhi stabilitas awal pada kapal, dimana stabilitas awal sebuah kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali ke kedudukan tegak semula sewaktu kapal terjadi oleng pada sudut-sudut kecil [9]. Modifikasi-modifikasi yang dilakukan pada model kapal perlu ditinjau stabilitasnya dan juga

performa olah gerak pada kapal. Gambar 1 menunjukkan gambar kapal ikan Tambak Lorok, sedangkan ukurannya disajikan dalam Tabel 1. Pengukuran manual dilakukan menggunakan mistar, benang kasur, meteran gulung dan laser pada kapal yang sudah naik ke atas daratan. Kapal dibagi ke dalam beberapa *station* dan *waterline* untuk mendapatkan ukuran utama kapal dan bentuk lambung kapal, sehingga dalam proses *modeling* akan diperoleh C_b kapal yang lebih akurat.



Gambar 1. Kapal Ikan Tambak Lorok

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal Ikan Tambak Lorok Bermaterial Kayu

Ukuran Utama Kapal Ikan Tambak Lorok	
Length Overall	5,98 m
Length of Waterline	5,67 m
Breadth	1,68 m
Height	0,77 m
Draft	0,37 m
C_b	0,40
Speed	5,00 knot
Displacement	1,445 ton

2.2. Stabilitas dan Olah Gerak Kapal

Analisa stabilitas kapal dikerjakan menggunakan bantuan *software Maxsurf Stability Advanced*, *fluid analysis* yang diterapkan merupakan simulasi dari gerakan statis pusat gravitasi fluida di setiap tangki. Setiap tangki diputar ke sudut oleng dan sudut trim yang dianalisa. Pusat gravitasi baru dihitung untuk setiap tangki dan digunakan dalam analisis GZ, KG, dan GM. Analisa data pada perhitungan stabilitas kapal digunakan formula dari *A.N-Krylov*.

$$F_B = g \Delta = \rho g \nabla \quad (1)$$

dengan $F_B = \text{bouyancy}$, $g = \text{gravitasi}$, $\rho = \text{massa jenis}$, $\Delta = \text{displacement}$, dan $\nabla = \text{volume displacement}$.

Metasentrik awal dan jarak antara pusat daya apung (B) dan gravitasi (G) :

$$GM_0 = BM_0 - BG \quad (2)$$

Lengan stabilitas statis dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$GZ = y_{B\phi} \cos\phi + Z_{B\phi} - KG \sin\phi \quad (3)$$

dengan $y_{B\phi}$, $Z_{B\phi}$ merupakan koordinat pusat daya apung. Lengan stabilitas statis untuk sudut inklinasi kecil dapat dihitung dengan persamaan :

$$GZ = GM \sin\phi \quad (4)$$

Momen penagak dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$M_R = g \Delta GZ \quad (5)$$

Kinerja stabilitas kapal dievaluasi berdasarkan kriteria stabilitas IMO untuk kapal penangkap ikan. Luasan area dibawah kurva GZ pada sudut-sudut tertentu, tinggi metesentrik awal, nilai maksimum GZ dan sudut maksimum GZ yang sesuai untuk kapal penangkap ikan dirangkum dalam Tabel 2. Kriteria stabilitas tersebut harus diperiksa dahulu terhadap *loading condition* atau kondisi pembebanan standar. Kondisi ini disinkronkan dengan skenario kapal sesuai standar yang telah ditetapkan oleh IMO. Empat kondisi pembebanan yang dirujuk sebagai berikut [10] :

1. Kondisi keberangkatan ke area penangkapan ikan dengan bahan bakar penuh, perbekalan, es, alat tangkap, dll.
2. Keberangkatan dari area penangkapan ikan dengan hasil tangkapan penuh dan persentase bahan bakar, perbekalan, dll.
3. Tiba di pelabuhan asal dengan sisa 10 persen perbekalan, bahan bakar, dll dan tangkapan penuh.
4. Tiba di pelabuhan asal dengan sisa 10 persen perbekalan, bahan bakar, dll dan hasil tangkapan 25 persen hasil tangkapan penuh.

Analisa olah gerak kapal dikerjakan dengan menggunakan *software Maxsurf Motion Advanced* yang menerapkan metode *Strip theory method*. Metode ini menganalisa masalah dengan merumuskannya sebagai fungsi frekuensi. Metode ini umumnya terbatas pada perhitungan respon linear kapal. Menerapkan metode ini juga memiliki banyak keuntungan, yang utama adalah komputasi dipercepat secara signifikan. Pengukuran lambung tidak melalui proses *meshing* namun *conformal mapping* yang digunakan untuk mendekati bagian kapal yang harus dihitung. Bagian-bagian kapal yang dipetakan diperuntukan untuk menghitung sifat hidrodinamika pada tiap bagian. Hasil analisa yang diperoleh akan dinilai kinerja olah geraknya dengan mempertimbangkan kriteria olah gerak untuk kapal ikan yakni *seakeeping Tello* yang sudah diringkas sehingga mempermudah ditunjukkan dalam Tabel 3. Parameter yang dinilai adalah *RMS roll*, *RMS pitch*, *RMS vertical acceleration* dan *RMS lateral acceleration*. Nilai RMS atau standar deviasi didapatkan dari persamaan :

$$\sigma_0 = \sqrt{m_0} \quad (6)$$

dimana m_0 adalah *spectral moment*, setara dengan area di bawah kurva spektrum gelombang

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_{\zeta}(\omega) d\omega \quad (7)$$

Standard Sea State Code yang ditetapkan oleh *World Meteorological Organization* (WMO) digunakan untuk menentukan tinggi gelombang signifikan yang sebenarnya sebagai standar operasional laut [11]. Setiap kode mewakili kisaran ketinggian gelombang seperti yang disajikan dalam Tabel 4. Disebabkan sulitnya mendapatkan tinggi gelombang signifikan yang sebenarnya, maka digunakan hasil penelitian tentang karakteristik gelombang perairan Laut Jawa [12], yang dimuat dalam Tabel 5. Keadaan laut dalam analisa kinerja *seakeeping* juga dideskripsikan sebagai spektrum gelombang. Spektrum gelombang menggambarkan keadaan laut yang mewakili elevasi gelombang spektral. Mempertimbangkan karakteristik Laut Utara Semarang yang merupakan wilayah perairan dimana nelayan Tambak Lorok beroperasi, maka Spektrum gelombang JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*) dipilih dalam penelitian ini [13]. Parameter spektrum gelombang JONSWAP didefinisikan sebagai berikut :

$$S_{JONSWAP\zeta}(\omega) = 0,658 S_{ITTC\zeta}(\omega) C(\omega) \quad (8)$$

dengan :

$$C(\omega) = 3,3 \uparrow \exp \left[\frac{-1}{2\sigma^2} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1 \right)^2 \right] \quad (9)$$

dimana :

$\sigma = 0,07$ untuk $\omega < \omega_0$; $\sigma = 0,09$ untuk $\omega > \omega_0$; dan $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$

$$S_{ITTC\zeta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp \left(\frac{-B}{\omega^4} \right) \quad (10)$$

dimana :

$$A = 172,75 \frac{H_{char}^2}{T^4}; \text{ dan } B = \frac{691}{T^4}$$

Gelombang yang terjadi di laut merupakan gelombang acak, sehingga dapat dikatakan bahwa RAO (*Response Amplitude Operator*) tidak dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya terjadi pada kapal. Untuk dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya dapat menggunakan spektrum respon, yakni respon gerakan kapal terhadap gelombang acak.

$$(\omega) = [RAO(\omega)]^2 S_{\zeta}(\omega) \quad (11)$$

Tabel 2. Kriteria Stabilitas untuk Kapal Penangkap Ikan Menurut IMO

No	Criteria	Required	Unit
1	Area under GZ curve from 0°–30°	0,055	m.rad
2	Area under GZ curve from 0°–40° or downflooding point	0,09	m.rad

3	Area under GZ curve from 30°–40° or downflooding point	0,03	m.rad
4	Maximum GZ at the angle of heel $\theta \geq 30^\circ$	0,20	m
5	Angel of Maximum GZ	25	deg
6	Initial Metacentric height, GM_t	0,35	m

Tabel 3. Kriteria *Seakeeping* Tello

No	Criteria	Prescribed Value
1	RMS of vertical acceleration	0,2 g
2	RMS of lateral acceleration	0,1 g
3	RMS of pitch	3,0 deg
4	RMS of roll	6,0 deg

Tabel 4. *WMO Sea State Code*

Sea State Code	Significant Weve Height (m)		Description
	Range	Mean	
0	0	0	Calm (glassy)
1	0,0 – 0,1	0,05	Calm (rippled)
2	0,1 – 0,5	0,3	Smooth (wavelets)
3	0,5 – 1,25	0,875	Slight
4	1,25 – 2,5	1,875	Moderate
5	2,5 – 4,0	3,25	Rough
6	4,0 – 6,0	5,0	Very Rough
7	6,0 – 9,0	7,5	High
8	9,0 – 14,0	11,5	Very High
9	Over 14,0	Over 14,0	Phenomenal

Tabel 5. *Sea State Condition* yang Ditetapkan

Sea State Code	Significant wave height (m)	Period (s)	Description
2	0,5	6,5	Smooth (wevelets)
3	1,25	7,5	Slight
4	2,0	8,8	Moderate

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pembuatan Model

Berdasarkan data kapal yang diperoleh dengan melakukan pengukuran di lapangan maka dibuatlah terlebih dahulu model 3D kapal ikan Tambak Lorok. Data kapal ikan Tambak Lorok akan digunakan sebagai acuan untuk modifikasi bentuk lambung kapal *fibreglass*. Terutama untuk nilai DWT awal kapal ikan Tambak Lorok yang bermaterial kayu perlu ditentukan terlebih dahulu, dimana pada penelitian ini nilai tersebut adalah variabel tetap. Perlu dihitung terlebih dahulu komponen LWT kapal untuk mendapatkan nilai DWT awal kapal. Komponen-komponen LWT kapal dapat dicari seperti dalam Tabel 6.

Tabel 6. LWT Kapal Ikan Tambak Lorok Bermaterial Kayu

Komponen LWT	Massa
Berat Kayu Kapal	0,647 ton
Instalasi Permesinan	0,085 ton
Peralatan dan Alat Tangkap	0,06 ton
Berat Cadangan (2-3)% LWT	0,024 ton
Total LWT	0,815 ton

Didapatkan berat LWT kapal ikan Tambak Lorok adalah 0,815 ton dari total berat komponen-komponen yang dihitung, maka untuk mendapatkan berat DWT kapal dapat dicari menggunakan rumus:

$$\Delta = DWT + LWT \quad (12)$$

$$DWT = \Delta - LWT \quad (13)$$

$$= 1,445 \text{ ton} - 0,815 \text{ ton}$$

$$= 0,630 \text{ ton}$$

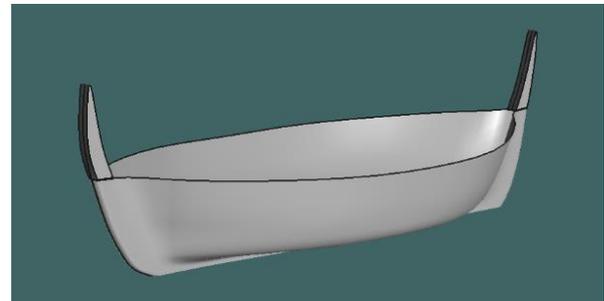
Bentuk lambung awal kapal ikan Tambak Lorok kemudian dimodifikasi dengan merubah materialnya dari kayu menjadi *fibreglass* dan bentuk lambungnya menjadi bentuk lambung *Round Bottom* dan bentuk lambung *V-Bottom* dengan tambahan *transom* pada bagian buritan. Modifikasi akan berjalan dengan tetap mempertahankan berat DWT kapal yakni 0,630 ton. Penentuan ukuran utama kapal tetap mengacu pada kapal-kapal dengan satu mesin penggerak yang ada di Tambak Lorok. Ukuran utama yang diperoleh akan disesuaikan dengan mempertimbangkan parameter rasio perbandingan ukuran utama L/B, L/H, T/B, dan T/H yang telah ditentukan untuk tipe kapal motor kecil/layar [14]. Tabel 7 menunjukkan ukuran utama dari kapal *fibreglass* hasil modifikasi. Dikatakan sudah sesuai apabila rasio perbandingan ukuran utama kapal tidak diluar dari batas bawah dan batas atas parameter seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8. Bentuk lambung dari ketiga model kapal dapat dilihat pada Gambar 2 – Gambar 10.

Tabel 7. Ukuran Utama Kapal *Fibreglass* Hasil Modifikasi

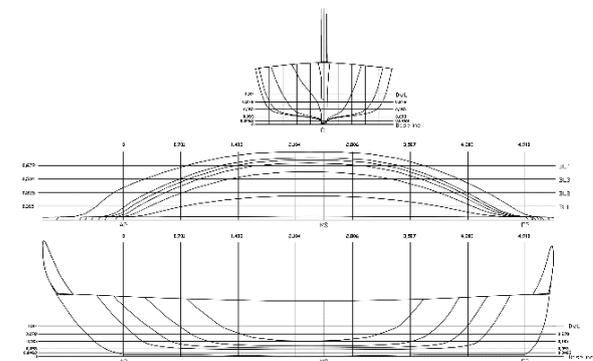
	Ukuran Utama Kapal <i>Fibreglass</i>		
	Unit	Round Bottom	V-Bottom
Length Overall	m	5,067	4,581
Length Waterline	m	4,970	4,354
Breadth	m	1,373	1,342
Height	m	0,800	0,743
Draft	m	0,415	0,403
Cb	-	0,356	0,428
Displacement	ton	1,033	1,033
LWT	ton	0,403	0,403

Tabel 8. Perbandingan Ukuran Utama untuk Tipe Kapal Motor Kecil / Layar

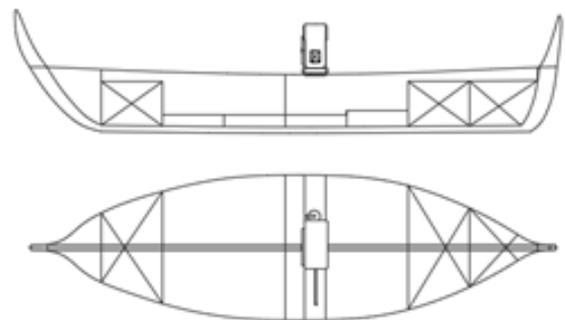
Item	Parameter	Perbandingan Ukuran Utama Kapal				
		Tambak Lorok	Status	Round Bottom	V-Bottom	Status
L/B	3,20 - 6,30	3,560	Pass	3,690	3,414	Pass
T/B	0,30 - 0,50	0,220	Fail	0,302	0,300	Pass
T/H	0,30 - 0,60	0,481	Pass	0,519	0,519	Pass
L/H	6,0 - 11,0	7,766	Pass	6,334	6,334	Pass



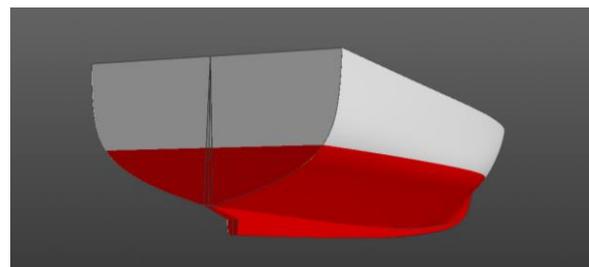
Gambar 2. 3D Model Lambung Kapal Ikan Tambak Lorok



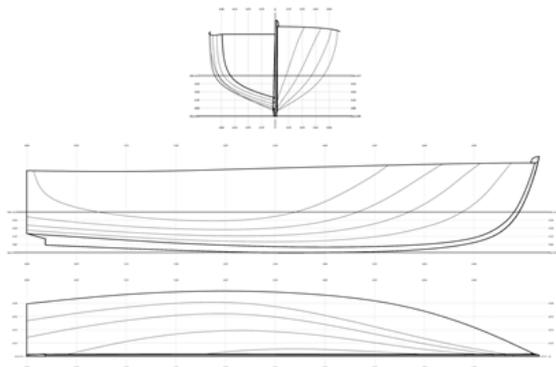
Gambar 3. Lines Plan Kapal Ikan Tambak Lorok



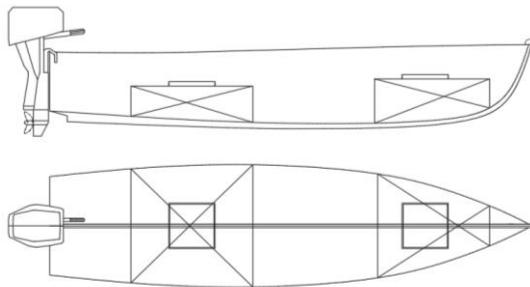
Gambar 4. Rencana Umum Kapal Ikan Tambak Lorok



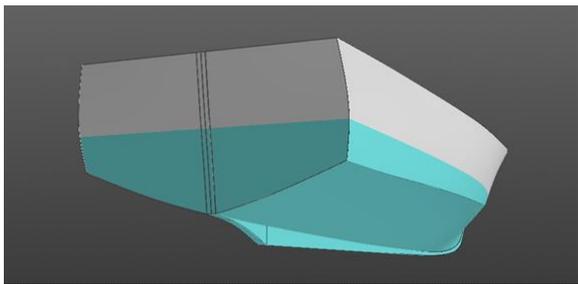
Gambar 5. 3D Model Lambung Kapal Round Bottom



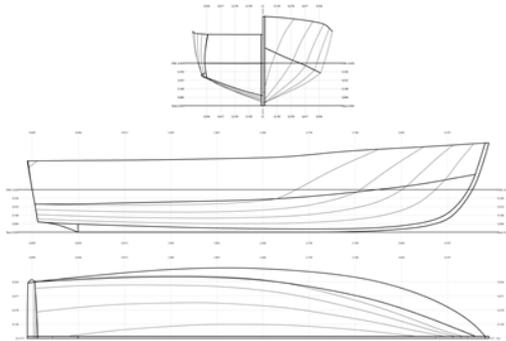
Gambar 6. Lines Plan Kapal Round Bottom



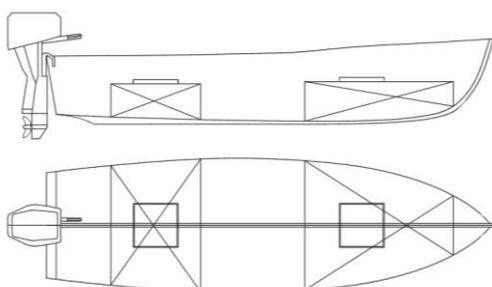
Gambar 7. Rencana Umum Kapal Round Bottom



Gambar 8. 3D Model Lambung Kapal V-Bottom



Gambar 9. Lines Plan Kapal V-Bottom



Gambar 10. Rencana Umum Kapal V-Bottom

3.2. Analisa Stabilitas

Data equilibrium kapal memperlihatkan posisi dari titik-titik kesetimbangan pada kapal yakni titik B, G, dan M terhadap K. Data *equilibrium* kapal ikan Tambak Lorok, kapal *Round Bottom* dan kapal *V-Bottom* dalam empat kondisi pembebanan masing-masing disajikan dalam Tabel 9 – Tabel 11. Berdasarkan tabel tersebut menunjukkan bahwa titik M yang berada diatas G, sehingga KM pada kapal memiliki nilai yang lebih besar terhadap KG kapal dapat diartikan jika kapal memiliki stabilitas positif.

Didapatkan hasil dari pengolahan data yang ada terhadap stabilitas kapal ikan Tambak Lorok tidak menunjukkan hasil yang memuaskan. Analisa hasil stabilitas yang diperoleh dengan kriteria stabilitas IMO sebagai rujukan didapati tidak semua aspek-aspek dari kriteria stabilitas tersebut dapat terlampaui dalam empat skenario kondisi pembebanan (*loading condition*) yang ditentukan. Nilai maksimum GZ pada sudut $\theta \geq 30^\circ$ pada kondisi pembebanan II, III dan IV tidak dapat tercapai dari kriteria minimal yang ditentukan sebesar 0,2 m. Nilai luasan area di bawah kurva GZ pada sudut $0^\circ - 30^\circ$ dan tinggi GM, juga tidak dapat tercapai dari nilai minimal yang direkomendasikan oleh IMO pada kondisi IV. Hasil yang diperoleh tidak lebih dari 0,302 m dari kriteria minimal tinggi GM, 0,35 m. Penilaian stabilitas kapal ikan tambak lorok pada setiap kondisi pembebanan disajikan dalam Tabel 12.

Hasil dari pengolahan data yang ada terhadap stabilitas kapal *Round Bottom* menunjukkan hasil yang lebih baik dari kapal ikan Tambak Lorok. Analisa hasil stabilitas yang diperoleh dari keempat skenario kondisi pembebanan (*loading condition*) menunjukkan bahwa aspek-aspek kriteria stabilitas IMO yang dijadikan rujukan dapat terlampaui semua. Penilaian stabilitas kapal *Round Bottom* disajikan pada Tabel 13.

Analisa stabilitas untuk kapal *V-Bottom* juga diperoleh hasil yang baik. Hasil analisa stabilitas yang diperoleh menunjukkan dari semua aspek-aspek kriteria stabilitas yang direkomendasikan oleh IMO telah terlampaui pada masing-masing kondisi pembebanan (*loading condition*) I, II, III, dan IV. Penilaian stabilitas kapal *V-Bottom* disajikan pada Tabel 14.

Tabel 9. Data *Equilibrium* Kapal Ikan Tambak Lorok

Item	Equilibrium				Unit
	I	II	III	IV	
LWL	5,638	5,562	5,555	5,614	m
Beam	1,482	1,550	1,548	1,493	m
Draft	0,293	0,396	0,394	0,316	m
Disp.	0,9445	1,417	1,403	1,027	ton

Wetted Area	6,709	7,749	7,717	6,910	m ²
Cp	0,550	0,544	0,541	0,596	-
Cm	0,646	0,707	0,706	0,636	-
Cwp	0,619	0,633	0,632	0,624	-
KB	0,207	0,263	0,262	0,210	m
KG	0,457	0,426	0,427	0,429	m
BM	0,740	0,572	0,575	0,704	m
GM	0,490	0,378	0,379	0,299	m
KM	0,947	0,834	0,836	0,914	m
Ta (+ve by stern)	2,22	-4,06	-4,19	0,25	deg

Tabel 10. Data *Equilibrium* Kapal *Round Bottom*

Item	Equilibrium				Unit
	I	II	III	IV	
LWL	4,688	4,946	4,951	4,829	m
Beam	1,227	1,302	1,301	1,271	m
Draft	0,277	0,416	0,415	0,318	m
Disp.	0,5242	1,0090	0,9975	0,6162	ton
Wetted Area	4,963	6,660	6,641	5,478	m ²
Cp	0,617	0,656	0,654	0,642	-
Cm	0,448	0,557	0,555	0,457	-
Cwp	0,656	0,724	0,724	0,674	-
KB	0,243	0,297	0,295	0,248	m
KG	0,446	0,390	0,392	0,404	m
BM	0,672	0,502	0,506	0,671	m
GM	0,469	0,390	0,391	0,483	m
KM	0,914	0,799	0,802	0,908	m
Ta (+ve by stern)	3,21	0,66	0,49	1,79	deg

Tabel 11. Data *Equilibrium* Kapal *V-Bottom*

Item	Equilibrium				Unit
	I	II	III	IV	
LWL	4,165	4,348	4,351	4,249	m
Beam	1,222	1,283	1,281	1,228	m
Draft	0,252	0,402	0,401	0,308	m
Disp.	0,5247	1,009	0,9972	0,6435	ton
Wetted Area	4,355	5,848	5,836	5,123	m ²
Cp	0,526	0,724	0,725	0,705	-
Cm	0,707	0,599	0,597	0,519	-
Cwp	0,693	0,768	0,768	0,748	-
KB	0,214	0,272	0,270	0,221	m
KG	0,416	0,359	0,361	0,369	m
BM	0,659	0,480	0,483	0,623	m
GM	0,457	0,384	0,384	0,461	m
KM	0,872	0,752	0,754	0,844	m
Ta (+ve by stern)	3,46	0,37	0,16	1,02	deg

Analisa stabilitas pada kapal hasil modifikasi baik pada kapal *Round Bottom* dan kapal *V-Bottom* menggunakan *software Maxsurf Stability* didapatkan hasil yang baik. Yakni dengan terlampauinya aspek kriteria stabilitas nilai maksimum GZ pada $\theta \geq 30^\circ$ masih berada di atas kriteria minimum IMO. Berbeda halnya dengan kapal ikan Tambak Lorok, dimana pada kondisi pembebanan (*loading condition*) II, III, dan IV dari hasil analisa yang diperoleh terhadap nilai maksimum GZ pada $\theta \geq 30^\circ$ berada di bawah kriteria minimum IMO.

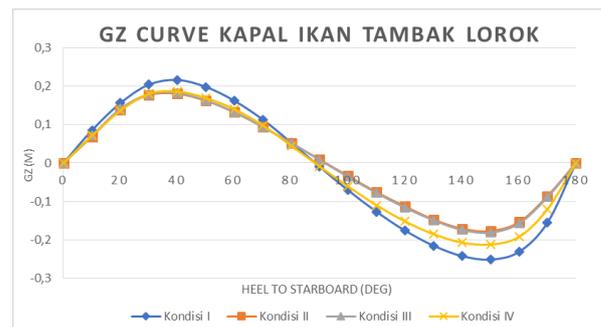
Standar IMO untuk tinggi metacenter awal GM_t dinyatakan tidak boleh kurang dari 0,35m. Ketiga model yang dibuat untuk masing-masing kondisi pembebanan (*loading condition*) I, II, dan III diperoleh hasil di atas kriteria IMO. Hanya hasil

untuk kondisi pembebanan (*loading condition*) IV pada kapal ikan Tambak lorok saja yang belum melampaui nilai kriteria minimal pada kriteria tinggi GM_t .

Kedua model kapal *Round Bottom* dan kapal *V-Bottom* hasil modifikasi yang mempertahankan nilai DWT awal kapal memiliki stabilitas yang lebih baik dari kapal ikan Tambak Lorok. Berdasarkan kriteria IMO sebagai standar stabilitas untuk kapal ikan, hasil yang diperoleh telah melampaui kriteria yang ditetapkan pada empat kondisi pembebanan (*loading condition*). Uji validasi nilai *righting lever* GZ hasil analisa dengan menggunakan *software Maxsurf* untuk sudut inklinasi kecil pada sudut 10° dan 20° terhadap kapal Ikan Tambak Lorok dengan menerapkan rumus (4), sebagaimana hasil perbandingannya disajikan pada Gambar 13.

Tabel 12. Stabilitas Kapal Ikan Tambak Lorok Terhadap Kriteria IMO

Kriteria	Required	Kondisi Stabilitas			
		I	II	III	IV
Area under GZ curve from 0° - 30°	0,055 m.rad	0,097	0,082	0,084	0,083
Area under GZ curve from 0° - 40° or downflooding point	0,09 m.rad	0,195	0,166	0,169	0,168
Area under GZ curve from 30° - 40° or downflooding point	0,03 m.rad	0,159	0,136	0,139	0,137
Maximum GZ at the angle of heel $\theta \geq 30^\circ$	0,20 m	0,216	0,182	0,184	0,188
Angle of maximum GZ	25°	$38,2^\circ$	$35,5^\circ$	$35,5^\circ$	$36,4^\circ$
Initial metacentric height GM_t	0,35 m	0,493	0,381	0,382	0,302

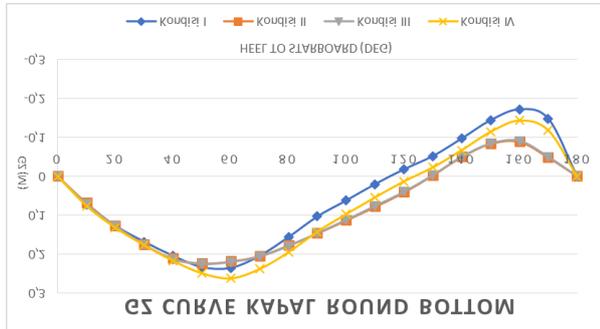


Gambar 11. Grafik Kurva GZ Kapal Ikan Tambak Lorok

Tabel 13. Stabilitas Kapal *Round Bottom* Terhadap Kriteria IMO

Kriteria	Required	Kondisi Stabilitas			
		I	II	III	IV
Area under GZ curve from 0° - 30°	0,055 m.rad	0,081	0,080	0,081	0,085
Area under GZ curve from 0° - 40° or downflooding point	0,09 m.rad	0,164	0,164	0,165	0,171
Area under GZ curve from 30° - 40°	0,03 m.rad	0,133	0,134	0,135	0,139

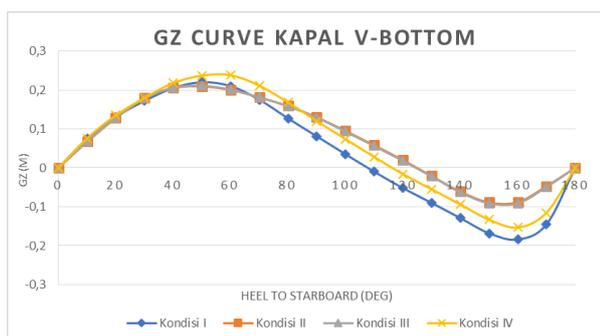
or downflooding point					
Maximum GZ at the angle of heel $\theta \geq 30^\circ$	0,20 m	0,239	0,224	0,225	0,262
Angle of maximum GZ	25°	55,5	50,9	50,9	68,2
Initial metacentric height GM_i	0,35 m	0,469	0,390	0,391	0,483



Gambar 12. Grafik Kurva GZ Kapal Round Bottom

Tabel 14. Stabilitas Kapal V-Bottom Terhadap Kriteria IMO

Kriteria	Required	Kondisi Stabilitas			
		I	II	III	IV
Area under GZ curve from 0°-30°	0,055 m.rad	0,083	0,108	0,079	0,085
Area under GZ curve from 0°-40° or downflooding point	0,09 m.rad	0,168	0,192	0,164	0,174
Area under GZ curve from 30°-40° or downflooding point	0,03 m.rad	0,136	0,134	0,135	0,141
Maximum GZ at the angle of heel $\theta \geq 30^\circ$	0,20 m	0,221	0,21	0,211	0,241
Angle of maximum GZ	25°	50,9	47,3	47,3	55,5
Initial metacentric height GM_i	0,35 m	0,450	0,384	0,384	0,461



Gambar 13. Grafik Kurva GZ Kapal V-Bottom

3.3. Analisa Olah Gerak (Seakeeping)

Berdasarkan hasil analisa, nilai *pitch motion* dari sudut arah gelombang *following seas* (0°) dan *head seas* (180°) pada kondisi gelombang *sea state 2 (smooth)* dengan ketinggian gelombang 0,5 m dan gelombang *sea state 3 (slight)* dengan ketinggian gelombang 1,25 m sudah memenuhi parameter olah gerak kapal dan untuk kondisi

gelombang *sea state 4 (moderate)* dengan tinggi gelombang 2,0 m tidak memenuhi parameter. Demikian dengan hasil analisa *Roll motion* dari sudut arah gelombang *beam seas* (90°) pada parameter kondisi gelombang *sea state 2 (smooth)* dan gelombang *sea state 3 (slight)* sudah memenuhi parameter olah gerak kapal, dan *sea state 4 (moderate)* dengan tinggi gelombang 2,0 m melebihi parameter olah gerak kapal yang ditentukan. Nilai parameter untuk *pitch motion* = 3,0° dan *roll motion* = 6,0°, sedangkan pada *sea state 4 (moderate)* dalam sudut arah gelombang tersebut nilai *pitch motion* yang diperoleh 3,36° dan nilai *roll motion* diperoleh 6,36°. Oleh karenanya hasil analisa dinyatakan tidak memenuhi parameter, meski begitu parameter pada kondisi *sea state 2 (smooth)* dan *sea state 3 (slight)* untuk kriteria *seakeeping Tello* yang ditentukan sudah terpenuhi untuk tiap-tiap sudut arah datangnya gelombang. Hasil analisa olah gerak kapal ikan Tambak Lorok disajikan dalam Tabel 15.

Parameter-parameter yang gagal terpenuhi pada *sea state 4 (moderate)* dengan ketinggian gelombang 2,0 m, telah berhasil terpenuhi pada analisa kapal *Round Bottom*. Diperoleh hasil *RMS of roll* pada sudut arah datangnya gelombang *beam seas* (90°) sebesar 5,10° pada kondisi gelombang *sea state 4*, dan hasil untuk *RMS of pitch* pada sudut *head seas* (180°) sebesar 2,74°. Hasil analisa pada *sea state 2 (smooth)* dan pada *sea state (slight)* dalam tiap-tiap sudut arah datangnya gelombang juga didapatkan hasil yang memenuhi di setiap parameter kriteria *seakeeping*. Hasil analisa olah gerak kapal *Round Bottom* disajikan dalam Tabel 16.

Terhadap parameter yang sama, hasil analisa olah gerak kapal *Round Bottom* pada kondisi gelombang *sea state 4 (moderate)* dalam sudut arah gelombang *beam seas* (90°), dan *head seas* (180°) lebih baik dari hasil analisa olah gerak kapal ikan Tambak Lorok, disajikan dalam Tabel 17. Nilai *roll motion* pada kondisi gelombang *sea state 4 (moderate)* sebesar 5,61° dalam sudut arah gelombang *beam seas* (90°) dari kriteria *RMS of roll* 6,0°. Nilai *pitch motion* sebesar 2,91° pada kondisi gelombang *sea state 4 (moderate)* dalam sudut arah gelombang *head seas* (180°) dari kriteria *RMS of pitch* 3,0°. Parameter *seakeeping* pada kondisi gelombang *sea state 2 (smooth)* dan *sea state 3 (slight)* juga memenuhi kriteria yang ditentukan dalam tiap-tiap sudut arah gelombang yang dianalisa.

Uji validasi terhadap nilai *RMS* gerakan *pitch* dan *roll* kapal ikan Tambak Lorok, perbandingan hasil yang diperoleh dari analisa menggunakan *software Maxsurf* dengan perhitungan disajikan dalam Gambar 15 dan Gambar 16.

Tabel 15. Nilai Kinerja Olah Gerak Kapal Ikan Tambak Lorok

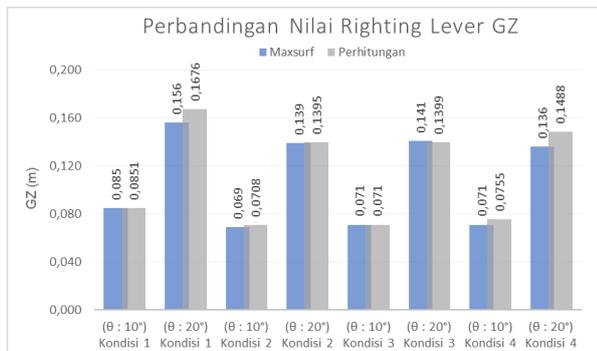
Parameter	Wave Heading	Sea State 2	Sea State 3	Sea State 4
RMS of vertical acceleration (g)	0°	0,007	0,016	0,022
	90°	0,022	0,044	0,052
	180°	0,056	0,108	0,130
RMS of lateral acceleration (g)	0°	-	-	-
	90°	0,010	0,018	0,020
	180°	-	-	-
RMS of pitch (deg)	0°	1,15°	2,31°	2,88°
	90°	0,57°	1,14°	1,50°
	180°	1,37°	2,73°	3,36°
RMS of roll (deg)	0°	-	-	-
	90°	2,79°	5,36°	6,36°
	180°	-	-	-

Tabel 16. Nilai Kinerja Olah Gerak Kapal Round Bottom

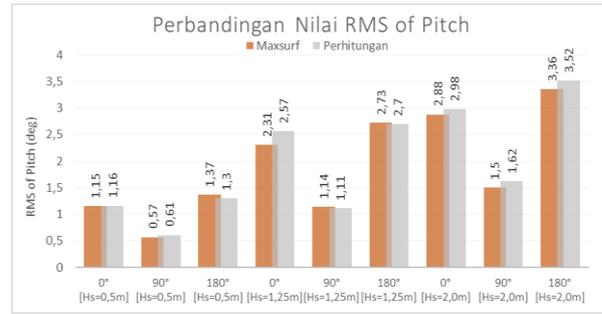
Parameter	Wave Heading	Sea State 2	Sea State 3	Sea State 4
RMS of vertical acceleration (g)	0°	0,007	0,016	0,022
	90°	0,022	0,044	0,054
	180°	0,050	0,098	0,118
RMS of lateral acceleration (g)	0°	-	-	-
	90°	0,011	0,019	0,020
	180°	-	-	-
RMS of pitch (deg)	0°	0,82°	1,67°	2,10°
	90°	0,37°	0,74°	0,92°
	180°	1,09°	0,219°	2,74°
RMS of roll (deg)	0°	-	-	-
	90°	2,23°	4,31°	5,10°
	180°	-	-	-

Tabel 17. Nilai Kinerja Olah Gerak Kapal V-Bottom

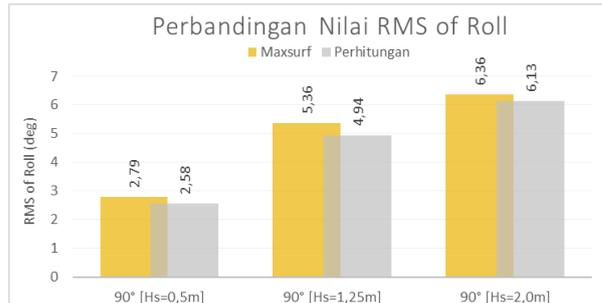
Parameter	Wave Heading	Sea State 2	Sea State 3	Sea State 4
RMS of vertical acceleration (g)	0°	0,007	0,016	0,022
	90°	0,022	0,043	0,054
	180°	0,053	0,103	0,123
RMS of lateral acceleration (g)	0°	-	-	-
	90°	0,010	0,019	0,021
	180°	-	-	-
RMS of pitch (deg)	0°	0,85°	1,68°	2,02°
	90°	0,47°	0,92°	1,14°
	180°	1,16°	2,33°	2,91°
RMS of roll (deg)	0°	-	-	-
	90°	2,45°	4,72°	5,61°
	180°	-	-	-



Gambar 14. Perbandingan Nilai Righting Lever GZ Maxsurf Stability dengan Hasil Perhitungan pada Sudut Inklinasi Kecil



Gambar 15. Perbandingan Nilai RMS of Pitch Maxsurf Motion dengan Hasil Perhitungan



Gambar 16. Perbandingan Nilai RMS of Roll Maxsurf Motion dengan Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil analisa stabilitas yang sudah dilakukan terhadap kapal ikan Tambak Lorok menggunakan *software Maxsurf Stability* pada parameter nilai maksimum GZ pada sudut oleng $\theta \geq 30^\circ$ kondisi pembebanan kapal (*loading condition*) II, III, dan IV tidak terpenuhi, dalam parameter yang sama pada model kapal *fibreglass Round Bottom* dan *V-Bottom* dapat diperoleh hasil yang dapat memenuhi kriteria dalam parameter yang disebutkan. Titik KG yang semakin kecil dapat memberikan efek yakni lengan penegak dan energi pembalik yang bertambah, sehingga kualitas stabilitas kapal akan meningkat. Hasil yang diperoleh diperkuat dengan penelitian sebelumnya terhadap stabilitas kapal Payang. Kondisi dimana nilai KG terkecil 0,837 meter memberikan efek terhadap kenaikan nilai GZ_{max} 46% sebesar 0,223 meter dan energi pembalik bertambah 60% sebesar 2,406 m.rad [15].

Nilai KG yang kecil juga berdampak pada rentang stabilitas (*range stability*) yang besar, pada kapal *Round Bottom* dan *V-Bottom* memiliki *vanishing angle* pada sudut besar seperti yang terlihat pada Gambar 11 – Gambar 13. Nilai rentang stabilitas masing-masing kapal lebih jelasnya disajikan dalam Tabel 19. Serupa dengan penelitian terhadap stabilitas kapal Payang pada kondisi kapal dengan KG terkecilnya yakni 0,54 meter memiliki rentang stabilitas $0^\circ-85,9^\circ$, dimana pada kondisi ini memiliki rentang stabilitas yang lebih besar dari kondisi yang lain. Selain dengan hasil yang didapat bahwa nilai KG yang berkurang

Tabel 19. Rentang Stabilitas Kapal

Kondisi Stabilitas	Kapal Ikan Tambak Lorok		Kapal Round Bottom		Kapal V-Bottom	
	Rentang Stabilitas	KG	Rentang Stabilitas	KG	Rentang Stabilitas	KG
Kondisi I	0° – 88°	0,457	0° – 115°	0,446	0° – 107°	0,416
Kondisi II	0° – 92°	0,426	0° – 129°	0,39	0° – 125°	0,359
Kondisi III	0° – 92°	0,427	0° – 129°	0,392	0° – 124°	0,361
Kondisi IV	0° – 89°	0,429	0° – 123°	0,404	0° – 117°	0,369

akan berbanding terbalik dengan bertambahnya rentang stabilitas [16].

Penilaian kinerja olah gerak (*seakeeping*) pada kapal ikan Tambak Lorok telah dilakukan sesuai dengan kriteria standar yang ditentukan. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa kapal ikan Tambak Lorok hanya diizinkan beroperasi pada kondisi *sea state* 3 (*slight*) saat ketinggian gelombang 1,25 m. Sedangkan hasil analisa terhadap model kapal *fibreglass* hasil modifikasi menunjukkan kinerja olah gerak kapal *Round Bottom* dan *V-Bottom* dapat beroperasi hingga pada kondisi *sea state* 4 (*moderate*) saat ketinggian gelombang mencapai 2,0 m. Berkaitan dengan hal tersebut, performa *pitch* pada kapal dapat meningkat dengan memperhatikan bentuk station bagian haluan kapal. Desain kapal *fibreglass* memiliki bentuk yang lebih ramping terutama pada bagian haluan kapal. Perihal ini sesuai dengan pernyataan berikut, dimana bentuk station pada bagian haluan kapal akan lebih baik memiliki bentuk yang lebih ramping, demikian untuk meningkatkan performa *pitch* pada kapal [17]. Gerakan *roll* pada sudut 0° dan 180° arah datangnya gelombang yang didapatkan adalah nol. Gerakan *roll* pada sudut 90° arah datangnya gelombang didapatkan hasil yang besar dalam kondisi laut yang dianalisa pada studi ini. Oleh karenanya, jika ada alasan kapal mengalami gerakan *roll* yang hebat di laut, tindakan yang tepat adalah dengan mengubah haluan dan/atau kecepatan kapal. Gerakan *roll* dapat berkurang secara drastis dengan mengubah arah kapal dalam rentang 45° hingga 0° dan 135° hingga hingga 180° [17].

Perubahan material dalam penelitian ini, dari semula berupa kayu pada kapal ikan Tambak Lorok menjadi *fibreglass* dengan tetap mempertahankan DWT, menghasilkan desain kapal *fibreglass* dengan total massa yang lebih kecil. Desain kapal *fibreglass* memberikan nilai massa kapal kosong 0,403 ton, dimana nilai tersebut menunjukkan 49% lebih ringan dari kapal ikan Tambak Lorok yang memiliki massa kapal kosong sebesar 0,815 ton. Nilai perubahan massa tersebut sesuai dengan hasil penelitian lain yang menyatakan bahwa perubahan material pembuatan kapal dari kayu menjadi *fibreglass* memberikan perbedaan massa kapal sebesar 39% - 41% [18].

4. KESIMPULAN

Hasil perubahan material pembuatan kapal yang semula bermaterial kayu dimodifikasi menjadi *fibreglass*, menunjukkan terjadinya penurunan pada massa kapal kosong *fibreglass* sebesar 0,403 ton.

Berdasarkan hasil analisa stabilitas dari ketiga model kapal menunjukkan bahwa stabilitas pada kapal *Round Bottom* dan *V-Bottom* dinyatakan lebih baik dari kapal ikan Tambak Lorok, dimana hasil dari empat skenario kondisi pembebanan (*loading condition*) pada kedua kapal yang disebutkan dinyatakan telah melampaui kriteria yang direkomendasikan oleh IMO.

Hasil analisa olah gerak pada spektrum gelombang JONSWAP, yakni dalam kondisi *sea state* 4 dengan tinggi gelombang 2,0 meter kapal *Round Bottom* dan *V-Bottom* dinyatakan lebih baik dalam parameter *RMS of roll* dan *RMS of pitch* dari pada kapal ikan Tambak Lorok dalam kriteria yang disebutkan.

Berdasarkan hasil analisa yang diperoleh dan pembahasan diantara desain kapal *fibreglass* *Round Bottom* dan *V-Bottom* keduanya memiliki hasil yang baik dengan memenuhi kriteria stabilitas IMO dan kriteria *seakeeping Tello*. Kapal *fibreglass Round Bottom* memiliki nilai yang lebih baik dari kapal model *V-Bottom* dengan selisih hasil yang tidak jauh berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Karyanto, D. Darmawan, and T. W. Nurani, "Kajian pasokan dan kebutuhan kayu untuk pembuatan kapal di Kabupaten Batang Provinsi Jawa Tengah," *J. Ilmu Dan Teknol. Perikan. Tangkap*, vol. 5, no. 2, pp. 54–61, 2020.
- [2] International Labour Organization, *Safety and Health in the Fishing Industry*. Geneva, 1999.
- [3] Komite Nasional Keselamatan Transportasi, *Statistik Investigasi Kecelakaan Transportasi KNKT*. Jakarta: KNKT, 2021.
- [4] O. Yaakob, F. E. Hashim, M. R. Jalal, and M. A. Mustapa, "Stability, Seakeeping and

- Safety Assessment of Small Fishing Boats Operating in Southern Coast of Peninsular Malaysia,” *J. Sustain. Sci. Manag.*, vol. 10, no. 1, pp. 50–65, 2015.
- [5] K. Kiryanto, “Analisa Teknis Stabilitas Dan Olah Gerak Kapal Patrol Speed Boat ‘Grass Carp’ Di Perairan Rawa Pening Jawa Tengah,” *Kapal*, vol. 7, no. 2, 2010.
- [6] R. C. Ariesta, M. S. Arif, and H. P. Puspitasari, “Comparison of Economical Analysis of Wood And Fiberglass Vessels In Randuboto Village, Gresik Regency, East Java,” *Econ. Soc. Fish. Mar.*, vol. 06, no. 01, pp. 73–82, 2018.
- [7] FAO, ILO, and IMO, *Safety Recommendations for Decked Fishing Vessels of Less than 12 metres in Length and Undecked Fishing Vessels*. Rome, 2012.
- [8] M. Tello, S. Ribeiro E Silva, and C. Guedes Soares, “Seakeeping Performance of Fishing Vessels in Irregular Waves,” *Ocean Eng.*, vol. 38, no. 5–6, pp. 763–773, 2011.
- [9] E. V Lewis, *Principles of Naval Architecture Second Revision Volume I Stability and Strength*, Second rev., vol. I. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.
- [10] International Maritime Organization, “International Code On Intact Stability,” 2008.
- [11] World Meteorological Organization, *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, Seventh ed., no. 8. Geneva: World Meteorological Organization, 2008.
- [12] N. M. Nabila, B. Sasmito, and A. Sukmono, “Studi Karakteristik Gelombang Perairan Laut Jawa Menggunakan Satelit Altimetri Tahun 2016-2018 (Studi Kasus : Perairan Laut Utara Jawa),” *J. Geod. Undip*, vol. 9, no. 1, pp. 67–76, 2019.
- [13] K. Hasselmann, T. P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D. E. Cartwright, K. Enke, J. A. Ewing, H. Gienapp, D. E. Hasselmann, P. Kruseman, A. Meerburg, P. Muller, D. J. Olbers, K. Richter, W. Sell, H. Walden, *Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)*. Hamburg: Deutsches Hydrographisches Institut, 1973.
- [14] H. R. Mangasi and R. Pareng, *Informasi Kapal*. Pekan Baru, 2018.
- [15] Y. Novita, N. Martiyani, and E. Ariyani, “Kualitas Stabilitas Kapal Payang Palabuhanratu Berdasarkan Distribusi Muatan (Quality of Payang Boat and Stability),” *J. IPTEKS PSP*, vol. 1, no. 1, pp. 28–39, 2014.
- [16] R. M. Sari, B. H. Iskandar, and F. Purwangka, “Stabilitas Statis Kapal Payang Madura (Kasus pada Salah Satu Kapal Payang di Pamekasan),” *Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan*, Institut Pertanian Bogor, 2010.
- [17] R. Bhattacharyya, *Dynamics of Marine Vehicles*. New York: Wiley-Interscience, 1972.
- [18] N. Nurhasanah, “Evaluasi Perbandingan Draft Kapal Ikan Fiberglass Dan Kayu Berdasarkan Skenario Loadcase, Studi Kasus Kapal Ikan 3GT,” *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 13, no. 2, pp. 55–60, 2016.