

Analisis Stabilitas KM. Rejeki Baru Kharisma Rute Tarakan – Tanjung Selor

Alamsyah*, Zen Zulkarnaen, Suardi

Program Studi Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Kalimantan,
Jl. Soekarno Hatta, KM.15, Kampus ITK Karang Joang, Balikpapan, Indonesia 76127

Abstrak

Stabilitas kapal yang tidak sesuai standar IMO akan membuat kapal terbalik saat beroperasi. Tujuan penelitian ini mengetahui penyebab terbaliknya kapal ditinjau dari kriteria stabilitas kapal. Metode yang digunakan yakni simulasi software. Analisis stabilitas dilakukan dengan loadcase yang terjadi dilapangan ketika terjadi accident dan loadcase ideal menurut standar PM 104 2017 tentang penyelenggaraan angkutan penyebrangan. Hasil penelitian didapatkan muatan barang yang diletakkan di roof top (loadcase 1) berdasarkan kriteria Intact Stability; luas kurva lengan stabilitas pada heeling $0^\circ \sim 30^\circ = 0.9417 \text{ m.deg}$, area $0^\circ \sim 40^\circ = 1.0200 \text{ m.deg}$, $30^\circ \sim 40^\circ = 0.0783 \text{ m.deg}$, nilai GZ pada heeling $30^\circ = 0.029 \text{ m}$, sudut terjadinya GZ maksimum = 21.8° , dan nilai GMt awal = 0.135 m , hasil menyatakan semua tidak memenuhi kriteria Intact Stability code A.749, sedangkan untuk muatan barang yang diletakkan di cabin penumpang (loadcase 2) berdasarkan Intact Stability; luas kurva lengan stabilitas pada heeling $0^\circ \sim 30^\circ = 4.5338 \text{ m.deg}$, area $0^\circ \sim 40^\circ = 7.1643 \text{ m.deg}$, area $30^\circ \sim 40^\circ = 2.6305 \text{ m.deg}$, nilai GZ pada heeling $30^\circ = 0.265 \text{ m}$, sudut terjadinya GZ maksimum = 34.5° , dan nilai GMt awal = 0.621 m , hasil menyatakan semua memenuhi kriteria Intact Stability code A.749.

Kata kunci: stabilitas; terbalik; kondisi pemuatan; lengan stabilitas; keselamatan; kapal cepat

Abstract

[Title: The Stability Analyze of KM. Rejeki Baru Kharisma of Tarakan – Tanjung Selor Route] Ship stability that is not according to the IMO standard will make the ship capsize when operating. The purpose of this research is to determine the cause of the overturn in terms of the stability criteria of the ship. The method used is software of simulation. Stability analysis is carried out with the load case that occurs in the field when an accident occurs and the ideal loadcase according to PM 104 2017 standards about's the transportation of operation. The results showed is cargo of goods placed on the roof top (loadcase 1) based on the criteria of Intact Stability; area of the stability arm curve at heeling $0^\circ \sim 30^\circ = 0.9417 \text{ m.deg}$, area $0^\circ \sim 40^\circ = 1,0200 \text{ m.deg}$, $30^\circ \sim 40^\circ = 0.0783 \text{ m.deg}$, GZ value at heeling $30^\circ = 0.029 \text{ m}$, angle of occurrence of maximum GZ = 21.8° , and the initial GMt value = 0.135 m , the results stated that all did not meet the Intact Stability code A.749 criteria, while in it was obtained cargo of goods placed in the hull (loadcase 2) based on Intact Stability; area of the stability arm curve at heeling $0^\circ \sim 30^\circ = 4.5338 \text{ m.deg}$, area $0^\circ \sim 40^\circ = 7.1643 \text{ m.deg}$, area $30^\circ \sim 40^\circ = 2.6305 \text{ m.deg}$, GZ value at heeling $30^\circ = 0.265 \text{ m}$, angle of occurrence of maximum GZ = 34.5° , and the initial GMt value = 0.621 m , the results stated that all met the Intact Stability code A.749 criteria.

Keywords: stability; capsize; loadcase; arm stability; safety; speed boat

1. Pendahuluan

Form follow function adalah prinsip dalam teori design dimana bentuk design sesuai dengan fungsinya.

Selain mengikuti fungsi, empat unsur desain dalam rancang bangun kapal yang perlu dipenuhi ketika suatu produk desain bisa dianggap berhasil (Sachri, 2002), yakni; a) aspek keamanan (safety), b) aspek kenyamanan (ergonomic), c) aspek keindahan (estetika), dan d) aspek filosofi. Salah satu standar krusial yang berkaitan dengan problematika keselamatan kapal ketika berlayar

*) Penulis Korespondensi.

E-mail: alamsyah@lecturer.itk.ac.id

yakni stabilitas. Banyak hasil riset menyatakan bahwa kapal dengan *draft* rendah atau yang memiliki perbandingan lebar dengan *draft* yang besar terdeteksi tidak memenuhi salah satu kriteria stabilitas Organisasi Maritim Internasional (*IMO*) khususnya saat *heeling* dimana lengan stabilitas maksimum terjadi. Hal ini dipengaruhi juga oleh *freeboard* yang relative kecil atau rasio antara *freeboard* dengan lebar kapal yang kecil (Paroka, 2009; Ali, 2011). Dalam rancang bangun yang berdasarkan resiko, semua pertimbangan resiko yang dapat terjadi selama pelayaran dimasukkan sebagai salah satu persyaratan yang harus dicapai pada setiap tahapan perancangan (Vassalos, 2004). Pada langkah awal perancangan yaitu menentukan *main dimension* kapal maupun karakteristik geometri lainnya, karakteristik kapal baik yang berkaitan dengan masalah kinerja diantaranya tahanan dan propulsi serta yang berkaitan dengan problematika keselamatan diantaranya kekuatan, stabilitas, dan *maneuvering* sudah harus bisa diprediksi. Prediksi awal tersebut dapat dilakukan dengan melihat perbandingan rasio *main dimension* kapal (Dokkum, 2003).

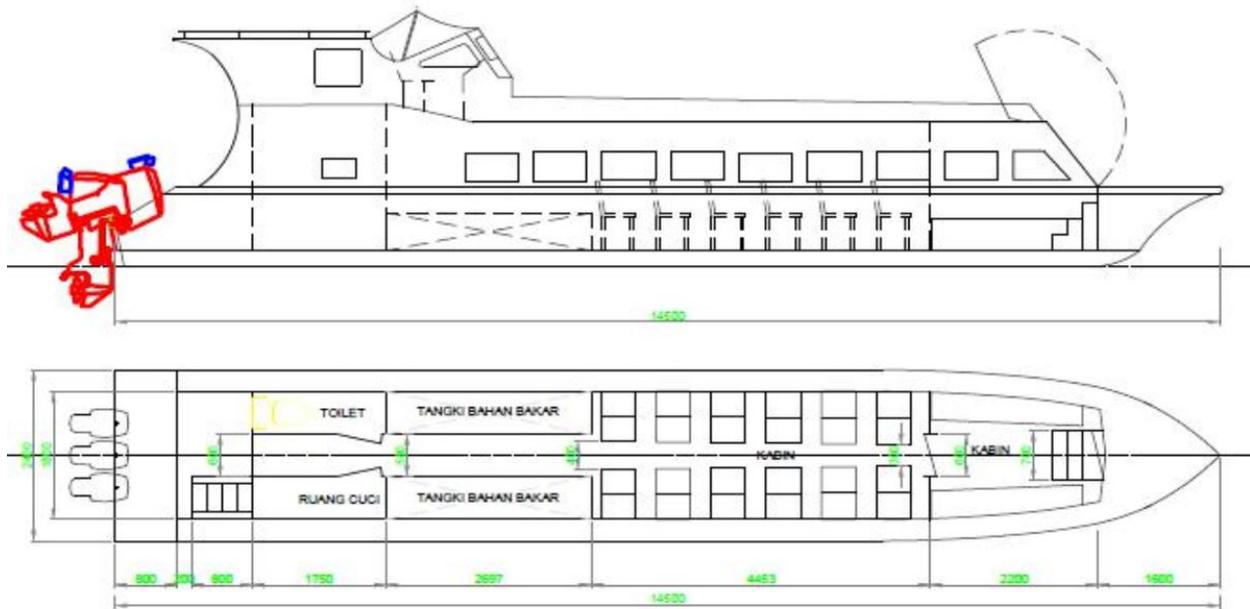
Stabilitas kapal adalah keberhasilan kapal bergerak kembali ke posisi awal setelah mendapat gaya dari luar. Keberhasilan tersebut dipengaruhi oleh lengan dinamis (*GZ*) yang berbentuk momen kopel sebagai penyeimbang gaya tekan *bouyancy* dengan gaya berat. Variabel stabilitas pada kapal terdiri dari *GZ*, *KG* dan *GM*. Dalam analisis stabilitas, penting halnya mencari harga lengan dinamis (*GZ*) yang dicocokkan dengan "Intact Stability Code, *IMO*". Pada sumber yang berbeda definisi stabilitas adalah kemampuan suatu kapal untuk menegak kembali sewaktu kapal miring oleh karena kapal menerima pengaruh luar, seperti angin, ombak dan sebagainya (Wakidjo (1972). Penelitian tentang keseimbangan (stabilitas) kapal sangat banyak dilakukan diantaranya pengaruh nilai *KG* (jarak titik berat terhadap dasar kapal secara vertikal) terhadap besarnya muatan kapal, dimana nilai *KG* berdampak pada kestabilan kapal (Marjoni *dkk.*, 2010).

Sesuai teori, titik krusial dalam analisis stabilitas kapal adalah titik berat (*G*), titik apung (*B*) dan metacenter (*M*) (Santoso & Sudjono, 1983). Titik berat kapal (*G*) adalah sebuah titik tangkap resultan semua gaya berat yang mengarah ke bawah dan berada pada kapal tersebut yang di pengaruhi oleh letak muatan serta konstruksi kapal. Titik tekan kapal (*B*) adalah sebuah titik pada analisis stabilitas kapal berupa *Centre of bouyence* yang merupakan titik tangkap resultan gaya tekan yang mengarah ke atas air yang bekerja pada bagian kapal yang terbenam didalam air. Titik metasentra (*M*) adalah suatu titik yang merupakan titik

putus busur ayunan sebagai lintasan yang dilewati oleh titik tekan kapal. Titik metasentra suatu kapal dengan sudut - sudut kemiringan yang kecil terdapat pada perpotongan garis sumbu dan arah garis gaya tekan ke atas sewaktu kapal mengalami kondisi *heeling* (Hind, 1967).

Posisi titik berat (*G*) dipengaruhi oleh letak muatan barang dan komponen lainnya di kapal. Semua unsur tersebut berefek pada nilai stabilitas statis, karena merupakan salah satu faktor yang menentukan nilai lengan penegak *GZ*. Apabila kapal dalam kondisi *heeling* dan tidak dapat kembali ke posisi semula, melainkan terus bergerak ke arah kemiringan (*GZ* negatif), maka kapal tersebut dalam kondisi *unstable equilibrium* (Derrett & Barras, 2012). *GZ* adalah lengan pengembali pada kapal agar kembali ke posisi awal yang diilustrasikan dengan pergeseran titik *G* ketika keseimbangan berubah ke titik *G'* setelah mengalami oleng. Jarak pergeseran *G* menuju *G'* disebut *GZ*. Pergeseran titik tersebut pada tiap *loadcase* akan memberikan nilai kurva stabilitas yang bervariasi. Untuk menentukan nilai stabilitas kapal dilakukan analisis stabilitas statis dan dinamis kapal. Stabilitas statis ditunjukkan oleh nilai lengan penegak *GZ* sementara stabilitas dinamis merupakan luasan di bawah kurva stabilitas statis (Kayadoe *dkk.*, 2015).

Peletakan posisi muatan pada bagian atas kapal secara vertikal akan berpengaruh besar terhadap perubahan nilai *KG*, demikian pula sebaliknya. Hubungan *draft*, ton *displacement*, *KG*, *GM* dan periode oleng menunjukkan bahwa nilai ton *displacement* berbanding terbalik dengan tinggi metacentra (*GM*). Semakin besar *displacement*, maka tinggi *metacentre* tereduksi dan nilai *KG* membesar. Hal ini disebabkan penambahan beban *w* (ton) meningkatkan *draft*, maka *centre of gravity* akan meningkat dan tinggi *metacentre* menurun. Perubahan *GM* tidak sebanding dengan perubahan nilai *centre of grafitiy*. Perubahan pada nilai *metacentra* berpengaruh terhadap periode oleng (Marjoni *dkk.*, 2010). Nilai periode oleng terdeteksi berbanding terbalik dengan initial *GM* (Istopo, 1997). Nilai periode oleng suatu kapal sangat dipengaruhi oleh tinggi nilai metacentra (*GM*) dan radius girasi (*radius of gyration*). Semakin besar *GM* dengan lebar kapal yang sama, maka periode oleng mengecil, demikian pula sebaliknya, semakin kecil nilai *GM* maka periode oleng mengalami *increasing* (Bhattacharyya, 1978). Berdasarkan hasil kajian tentang kecelakaan kapal ketika berlayar, didapati kebanyakan berupa terbaliknya kapal. Kondisi ini dikarenakan kapal mengalami *overload*, dan peletakan barang yang berlebihan di atas geladak utama kapal (Jin, 2002; Wang, 2005).



Gambar 1. General Arrangement Speed Boat KM. Rejeki Baru Kharisma (KNKT, 2018).

Paper ini membahas tentang kecelakaan yang menimpa KM. Rejeki Baru Kaharisma. *Speed Boat* tersebut berlayar meninggalkan pelabuhan dengan kondisi miring ke kiri akibat pengaturan muatan yang diletakkan di atas atap (*roof top*). Setelah *speed boat* berlayar sekitar sejauh 200 Meter dari dermaga, juragan Rejeki Baru Kharisma menambah putaran mesin sampai 3.500 putaran menit, kondisi *speed boat* semakin miring ke kiri sehingga Juragan berbelok tajam ke kanan agar dapat kembali ke posisi semula, namun usaha ini tidak berhasil, Rejeki Baru Kharisma tidak dapat dikendalikan dan terbalik ke kiri. KNKT menyimpulkan bahwa faktor yang berkontribusi terhadap kecelakaan terbaliknya *speed boat* adalah akibat kondisi *speed boat* yang miring ketika berangkat dari pelabuhan dan akibat juragan *speed boat* refleks berbelok tajam ke kanan agar dapat kembali ke posisi semula. Muatan dan penumpang yang duduk berhadapan di sisi kanan tergeser ke sisi kiri akibat dari gaya sentrifugal yang diakibatkan refleks berbelok tajam ke kanan. Kondisi ini menyebabkan berpindahnya titik berat ke sisi kiri sehingga *speed boat* semakin *heeling* ke kiri dan kemudian terbalik (*capsize*) (Komite Nasional Keselamatan Transportasi, 2018).

Penelitian bertujuan mensimulasikan kondisi stabilitas kapal dengan *loadcase* muatan di atas atap kapal (*roof top*) lalu membandingkannya dengan *loadcase* ideal (muatan di *cabin deck*). Hasil analisis *loadcase* tersebut akan menghasilkan kurva lengan stabilitas yang akan dicocokkan dengan standar IMO.

2. Bahan dan Metode

2. 1. Objek Penelitian

Penelitian dilakukan pada kapal penyeberangan antar pulau dengan kapasitas 6 GT. Kapal tersebut merupakan jenis *speed boat* yang mengalami *accident (capsize)*. Data teknis berupa ukuran utama serta *General Arrangement* dari kapal sampel ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan tata letak kompartemen KM. Rejeki Baru Kharisma. *Speed boat* ini didesain untuk dapat mengangkut 55 penumpang dengan jumlah awak 3 orang. Rejeki Baru Kharisma (Tanda Selar: GT 6 No.454 B-14) merupakan *speed boat* penumpang yang digunakan sebagai angkutan penumpang dari Tanjung

Selor sampai Tarakan, Pulau Bunyu, Nunukan, Sei Nyamuk, Kabupaten Tana Tidung, Malinau dan Berau yang semuanya berada di provinsi Kalimantan Utara. Rejeki Baru Kharisma dibangun dengan bahan konstruksi *fiberglass (Fiber Reinforced Plastic FRP)* di

Tabel 1. Ukuran utama *speed boat* (Dinas perhubungan kabupaten bulungan, 2013).

Ukuran Teknis Speed Boat KM. Rejeki Baru Kharisma

Panjang Keseluruhan (LOA)	14,50 m
Lebar (B)	2,40 m
Dalam (T)	1,10 m
Tonase Kotor (GT)	6,00 m ³
Tonase Bersih (NT)	2,00 m ³

galangan kapal Samarinda, Kalimantan Timur pada tahun 2013. Berdasarkan Pas Kecil yang diterbitkan oleh Dinas Perhubungan Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara ukuran tonase *speed boat* ini adalah 6 GT (Dinas Perhubungan Kabupaten Bulungan, 2013).

Akses penumpang dari dermaga ke ruang penumpang melalui pintu yang terdapat di haluan dan buritan. Rejeki Baru Kharisma memiliki ruang penumpang, ruang kendali navigasi atau anjungan yang terletak pada bagian buritan di atas ruang penumpang. Untuk kenyamanan penumpang pada ruang penumpang disediakan tempat duduk yang dilapisi dengan busa dan juga terdapat tempat duduk yang terbuat dari bahan FRP. Pada ruang penumpang terdapat jendela berbahan mika yang berbentuk persegi (*square window*) tetapi *speed boat* ini tidak memiliki pintu atau jendela darurat pada bagian sisi samping kiri dan kanan yang dapat diakses jika terjadi kecelakaan. Pada ruang penumpang terdapat 2 (dua) tangki bahan bakar portabel yang berbentuk kotak panjang. Tangki ini selain sebagai tempat menyimpan bahan bakar juga sebagai tempat duduk penumpang. Barang penumpang diletakkan di atas atap (*roof top*) yang diatur oleh awak *speed boat* (Komite Nasional Keselamatan Transportasi, 2018).

2. 2. Metode Penelitian

Metode yang diterapkan pada penelitian ini yakni simulasi menggunakan *software maxsurf*. Objek risetnya adalah kapal *speed boat* 6 GT. Data yang dipergunakan ditunjukkan pada Tabel 1. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software Maxsurf*. Untuk mendapatkan nilai analisis stabilitas *speed boat* Rejeki Baru Kharisma dilakukan beberapa tahap.

Tahap pertama dilakukan pengumpulan data primer berupa wawancara langsung dengan juragan kapal dan data sekunder berupa laporan dari KNKT serta dinas perhubungan terkait dengan *accident* yang menimpa KM. Rejeki Baru Kharisma. Pengolahan data dilakukan diawali dengan membuat gambar *lines plan* berdasarkan data dimensi utama dan kelengkungan badan kapal dengan mengacu pada teori *naval architecture* (Fyson 1985). Tugas utama *naval architect* adalah untuk mendapatkan bentuk lambung terbaik berdasarkan integrasi antara dimensi utama, koefisien hidrostatis, dan beberapa faktor seperti 1. tahanan dan daya dorong; 2. Stabilitas; 3. *Seakeeping*; 4. *Manuver* kapal; 5. Ruang kargo; 6. Aspek konstruksi; dan 7. Biaya bangunan (Papanikolaou, 2014).

Tahap kedua adalah pemodelan *speed boat* yang bertujuan untuk mengetahui bentuk lambung dan tata letak kompartemen yang ada di atas kapal. Pemodelan lambung *speed boat* menggunakan bantuan *software maxsurf (maxsurf modeler)*. Variabel yang dibutuhkan dalam memodelkan *speed boat* yakni L_{OA} , B, H, T, dan L_{WL} . Proses awal rancangan meliputi menentukan ukuran utama kapal serta karakteristik geometri lainnya,

kinerja kapal seperti hambatan dan propulsi maupun yang berhubungan dengan keselamatan meliputi stabilitas, *maneuvering* didapati bisa diprediksi (Jung dkk., 2018). Data yang diperoleh data primer diolah untuk mendapatkan parameter hidrostatis. Adapun variable yang didapatkan dari perhitungan-perhitungan yakni sebagai berikut: C_b , C_w , C_m , C_p , L_{wl} , B_{wl} , d , A_m , A_w , V (Nomura & Yamazaki, 1977).

Tahap ketiga adalah analisis stabilitas *speed boat* dilakukan dalam upaya menggali karakteristik kapal pada saat *heeling* dikarenakan pengaruh beban muatan. Untuk menghitung stabilitas, maka perlu dilakukan perencanaan skenario muatan (*loadcase*) ketika beroperasi, sehingga dapat diketahui nilai lengan stabilitas statis pada setiap kondisinya. *Loadcase* yang direncanakan yaitu kondisi pada saat *speed boat* berangkat dengan pengaturan muatan diletakkan di atas *roof top (loadcase 1)*, dan ketika *speed boat* berangkat dengan pengaturan muatan diletakkan di *cabin deck (loadcase 2)*. Saat dilakukan simulasi analisis stabilitas diusahakan model mendekati kondisi sebenarnya dilapangan. Proses analisis stabilitas menggunakan *software maxsurf stability*. Penelitian ini berbentuk simulasi yang bertujuan mencari gambaran melalui sebuah sistem berskala kecil atau sederhana (model) di mana pada model tersebut dilakukan manipulasi atau kontrol untuk melihat pengaruhnya. Penelitian ini kurang lebih seperti dengan penelitian eksperimental, perbedaannya yakni pada penelitian ini membutuhkan lingkungan yang menggambarkan kondisi sebenarnya. Teknik pengumpulan data adalah data sekunder yang diperoleh melalui pengutipan informasi penulisan ilmiah (Matafi dkk., 2015)

Tahap keempat yakni interpretasi hasil dimana nilai stabilitas (lengan statis dan dinamis) *speed boat* akan dicocokkan dengan standar teknis yang mengacu pada persyaratan stabilitas kapal IMO A. 749 chapter 3. Kriteria stabilitas kapal yang harus dipenuhi dalam analisis didasarkan pada kode Stabilitas Utuh (IMO, 2002; IMO, 2008). Nilai stabilitas kapal *speed boat* yang baik secara teknis dan layak beroperasi harus memenuhi kriteria standar tersebut. Tingkat keamanan sangat diperlukan ketika merencanakan desain stabilitas seperti mengecek perhitungan stabilitas dan menentukan tahapan yang tepat ketika desain awal. Langkah alternatif desain sangat diperlukan untuk mendapatkan desain yang optimal (bentuk lambung, subdivisi, dll) dan skenario-skenario muatan (Boulougouris, 2016). Dalam perkapalan konsep stabilitas sangat fundamental dan mempunyai arti secara integral yang sangat berkaitan dengan keselamatan kapal. Oleh sebab itu, stabilitas kapal sangat krusial karena mempunyai konsekuensi langsung kepada desain dan operasi kapal ketika berlayar (Bačkalov dkk., 2016).

Tahap kelima adalah perhitungan periode oleng kapal (T). Nilai T digunakan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan ketika kapal mengalami keadaan *heeling* hingga kapal kembali ke posisi awal. Perhitungan periode oleng dilakukan untuk masing-masing *loadcase*. Berdasarkan data yang telah diperoleh berupa data karakteristik hidrostatis kapal *speed boat*, selanjutnya dilakukan perhitungan periode oleng yang mengacu kepada *International Code on Intact Stability, 2008- Part A* (International Maritime Organization, 2008). *The roll period (T)* pada kapal bisa ditentukan dengan Persamaan 1 dan 2.

$$T = \frac{2 \times C \times B}{\sqrt{GM}} \text{ (s)} \quad (1)$$

$$C = 0.373 + 0.023 \cdot \left(\frac{B}{d}\right) - 0.043 \left(\frac{L_{wl}}{100}\right) \quad (2)$$

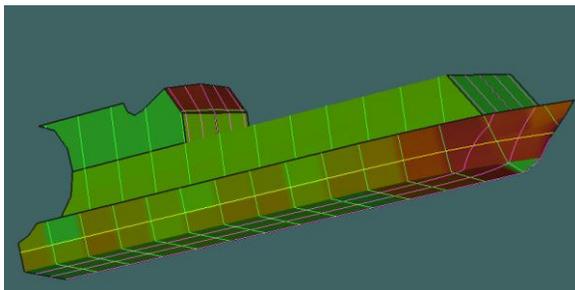
dimana L_{wl} adalah panjang garis air pada kapal (m); B adalah lebar kapal (m); d adalah sarat kapal (m); dan GM adalah jarak metacentra ke titik berat kapal (m). Atau periode oleng bisa juga ditentukan berdasarkan Persamaan 3 (Derrett & Barrass, 2012).

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot C \cdot B}{\sqrt{g \cdot GM}} \text{ (s)} \quad (3)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemodelan Kapal *Speed Boat*

Dengan variable ukuran utama kapal yang didapatkan dari data primer, maka dilakukan pemodelan kapal *speed boat* dengan menggunakan *maxurf modeler* yang ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan pemodelan kapal *speed boat* secara utuh, mulai dari bentuk lambung dan bangunan atas. Pemodelan diusahakan sedetail mungkin agar mendekati bentuk kapal sebenarnya. Dimensi kapal menjadi pertimbangan berhubungan penggunaan kapal yang akan dibangun dikarenakan nilai dimensi utama akan menentukan kapasitas dan kemampuan suatu kapal (Utomo, 2010).



Gambar 2. Pemodelan Kapal *Speed Boat* KM. Rejeki Baru Kharisma Menggunakan *Software Maxurf*.

3.2 Perhitungan Berat *LWT* dan *DWT Speed Boat*

Berat kapal sendiri terdiri atas dua komponen yakni *DWT (Dead Weight Tonnage)* dan *LWT (Light Weight Tonnage)*. Komponen berat kapal *DWT* terdiri penumpang, barang dan *consumable* untuk penumpang dibagi menjadi 2 yaitu penumpang sebanyak 52 orang, dan *crew* sebanyak 3 orang dengan asumsi berat 0.080 kg. Detail berat *DWT* kapal ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan nilai akumulasi untuk berat total *DWT* kapal ini sebesar 9,28 ton. Sedangkan berat *LWT* adalah berat kapal kosong yang meliputi berat fiber kapal, konstruksi lambung kapal, *machinery*, dan berat *equipment* yang digunakan. Untuk tebal *shell plate* 5 mm dan massa jenis fiber sebesar 2000 Kg/m³. Komponen berat *LWT* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan total *LWT* sebesar 2.06 ton. Sehingga berat total kapal adalah akumulasi *LWT* dan *DWT* sebesar 11,343 ton. Setelah dilakukan perhitungan estimasi berat kapal, maka dilakukan desain tangki pada kompartemen. Pembuatan desain tangki pada kapal dilakukan dengan menggunakan *Maxsurf Stability*. Untuk mengetahui dimensi tangki - tangki serta letak tangki, maka dibutuhkan sketsa secara umum dari *tank arrangement* yang diperoleh pada *General arrangement* Kapal. Dalam mendesain tangki pada kapal nilai yang perlu dimasukkan yakni titik *keypoint* tangki sesuai dengan *tank arrangement* dalam bentuk 3D yang dilengkapi dengan nama tangki serta fluida yang akan mengisi tangki tersebut. *Input* data tangki ditunjukkan pada pada Tabel 4 dan Gambar 3.

Tabel 4 menunjukkan spesifikasi tangki-tangki berada pada lambung kapal. Variabel-variabel yang tertera merupakan identitas dari tiap-tiap tangki. Diawali dengan nama dan tipe tangki, kemudian *intact permeability (%)*, tipe fluida, bentuk, ukuran, serta letak koordinat tangki. Semua variable tersebut didefinisikan

Tabel 2. Berat komponen *DWT* kapal *speed boat*

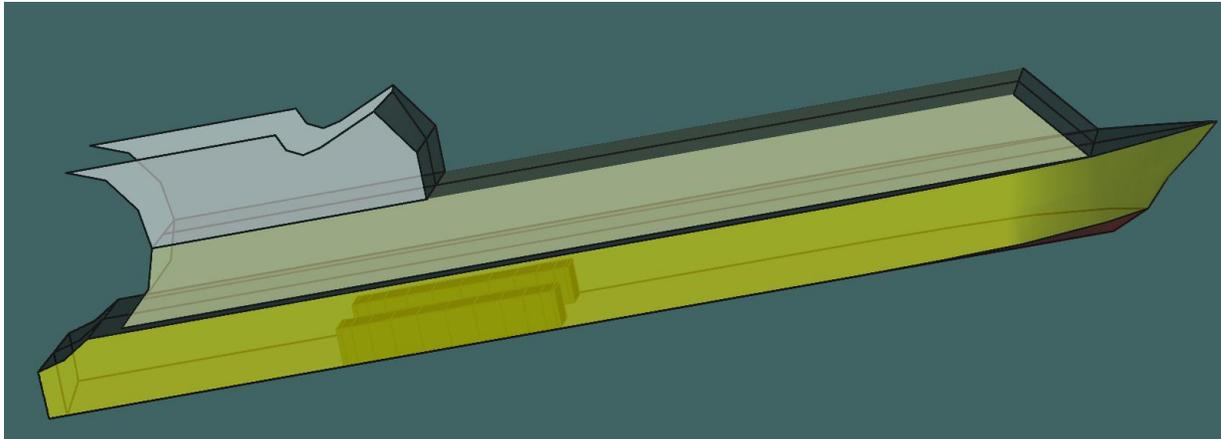
No	Komponen Berat DWT Kapal	
1	Berat Penumpang	4,78 Ton
2	Berat Fuel Oil	1,26 Ton
3	Berat Crew	0,24 Ton
4	Berat Barang Bawaan	3,00 Ton
Total		9,28 Ton

Tabel 3. Berat komponen *LWT* kapal *speed boat*

No	Komponen Berat LWT Kapal	
1	Berat Fiber	1,29 Ton
2	Berat Mesin (Outboard Motor)	0,60 Ton
3	Berat Toilet	0,06 Ton
4	Berat Ruang Cuci	0,06 Ton
5	Berat Peralatan Navigasi	0,04 Ton
Total		2,06 Ton

Tabel 4. Spesifikasi ukuran tangki kapal dan jenis fluidanya

Type tank	Intact & Damage Perm. %	SG	Aft (m)	Fore (m)	F.P (m)	F.S (m)	F.T (m)	F.B (m)	A.P (m)	A.S (m)	A.T (m)	A.B (m)	Callibrat
F.O.T. Port	100	0.94	3.6	6.3	-1	-0.4	0.6	0.2	Prisma		Prisma		yes
F.O.T Stbd.	100	0.94	3.6	6.3	0.4	1	0.6	0.2	Prisma		Prisma		yes



Gambar 3. Peletakan tangki-tangki secara 3D pada kapal speed boat

oleh software *maxurf stability* setelah *input* data *tank arrangement* kapal.

Gambar 3 menunjukkan letak tangki-tangki berada pada lambung kapal. Peletakan muatan di bawah geladak kapal, dapat menambah performa stabilitas kapal, idealnya muatan di tempatkan di bawah geladak kapal dimana kondisi *overload* di atas kapal sebaiknya dihindari (Novita *dkk.*, 2014). Posisi tangki diletakkan disamping kiri (*portside*) dan di samping kanan (*starboard side*) untuk menyeimbangkan kapal.

3.2 Pengaturan Skenario Muatan Speed Boat (Load case)

Dalam penelitian di skenarioan 2 *loadcase* antara lain barang terletak pada *roof top* sesuai dengan kondisi kapal saat terjadi *accident* yang selanjutnya disebut *loadcase* 1 dan skenario barang diletakkan pada *cabin deck* sesuai dengan standar pemuatan barang yang selanjutnya disebut *loadcase* 2. Skenario-skenario tersebut ditunjukkan pada Tabel 5, 6, Gambar 4, dan 5. Tabel 5 dan 6 menunjukkan spesifikasi tangki-tangki berada pada lambung kapal. *Outfitting* lainnya berupa mesin, peralatan navigasi, dan kelengkapan akomodasi. Penumpang dan barang bawannya dimodelkan juga pada software agar bisa menyerupai kondisi sebenarnya dilapangan. Variabel-variabel yang tertera merupakan identitas dari tiap-tiap *item* berat. Di awali dengan nama dan tipe tangki, *specific gravity*, tipe fluida, bentuk,

ukuran, serta letak koordinat tangki, berat tangki dan volume tangki. Semua variable tersebut didefinisikan oleh software *maxurf stability* setelah dilakukan *input* data *tank arrangement* kapal. Sedangkan Gambar 4 dan 5 menunjukkan pemodelan 3D untuk setiap komponen berat yang berada pada kapal *speed boat* yang mewakili masing-masing *loadcase*. *Output* dari pengaturan *loadcase* adalah mengetahui posisi titik berat (G) kapal. Posisi titik G di kapal dapat dideteksi dengan memperhatikan pengaturan bobot muatan di kapal. Semakin besar jumlah bobot yang diletakkan di bagian atas geladak kapal, maka makin jauh jarak titik G terhadap lunas/keel kapal (K). Hal ini memberikan petunjuk yakni nilai *KG* berbanding terbalik dengan nilai *GM*. Ketika nilai *KG* tinggi maka nilai *GM* menjadi rendah. Perbandingan lebar dan sarat kapal maksimum yang memenuhi kriteria stabilitas kapal dipengaruhi oleh nilai *block coefficient* (*Cb*) pada kapal tersebut. Semakin rendah nilai *Cb*, maka semakin tinggi rasio minimum lebar dan sarat kapal yang diperlukan agar mencapai kriteria stabilitas *IMO* (Fadillah *dkk.*, 2019).

3.3 Analisis Stabilitas

Analisis stabilitas dilakukan dengan bantuan software *maxurf stability*. *Outputnya* yakni kurva lengan stabilitas (*GZ*) untuk masing-masing *loadcase* yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Tabel 5. Skenario pemabagian muatan *loadcase 1* pada kapal *speed boat*

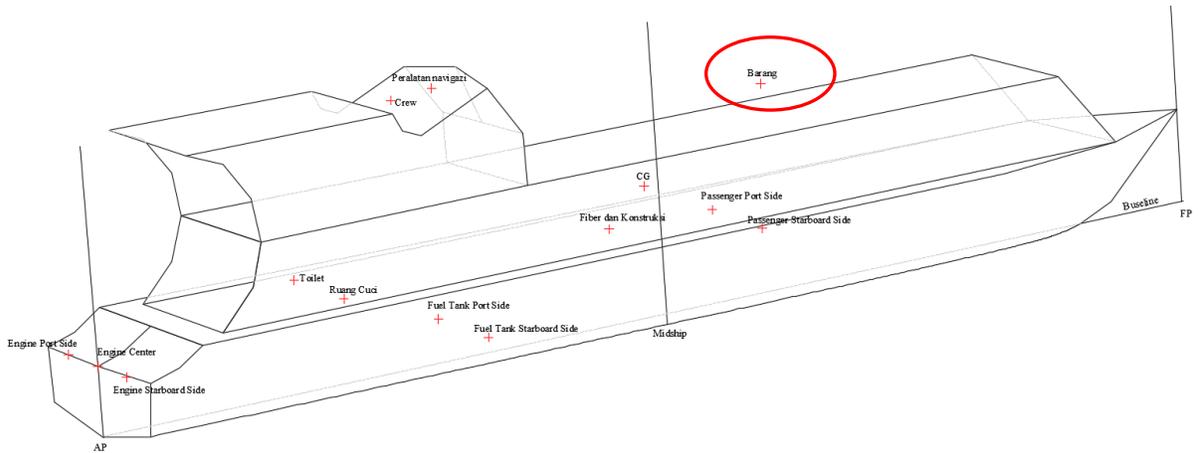
No	Item name	S G	Fluid type	Unit Mas. (ton)	Unit Vol. (ton)	Long Arm (m)	Trans arm (m)	Ver. arm (m)	Total FSM (ton.m)
1	Fiber & Constr.			1.2		6.35	0	0.98	0
2	Alat Navig.			0.04		4.21	0	3	0
3	crew			0.24		3.71	0	3	0
4	Barang			3.00		8.46	0	2.25	0
5	Engine Port			0.2		0	-0.6	0.79	0
6	Engine Center			0.2		0	0	0.79	0
7	Engine Stbd			0.2		0	0.6	0.79	0
8	Toilet			0.06		2.72	-0.67	1	0
9	Ruang Cuci			0.06		2.72	0.67	1	0
10	Passe. Port			2.39		7.94	0.58	0.78	0.12
11	Passe. Stbd			2.39		7.94	-0.58	0.78	0.12
12	FOT Port		Fuel oil	0.63	0.66	4.99	-0.72	0.42	0
13	FOT Stbd		Fuel oil	0.63	0.66	6.09	0.46	0.20	0
14	Tot.Loadcase			11.34	1.33	7.05	-0.015	1.19	0.25
15	FS Correc.					0.02			
16	VCG fluid					1.21			

Tabel 6. Skenario pembagian muatan *loadcase 2* pada kapal *speed boat*

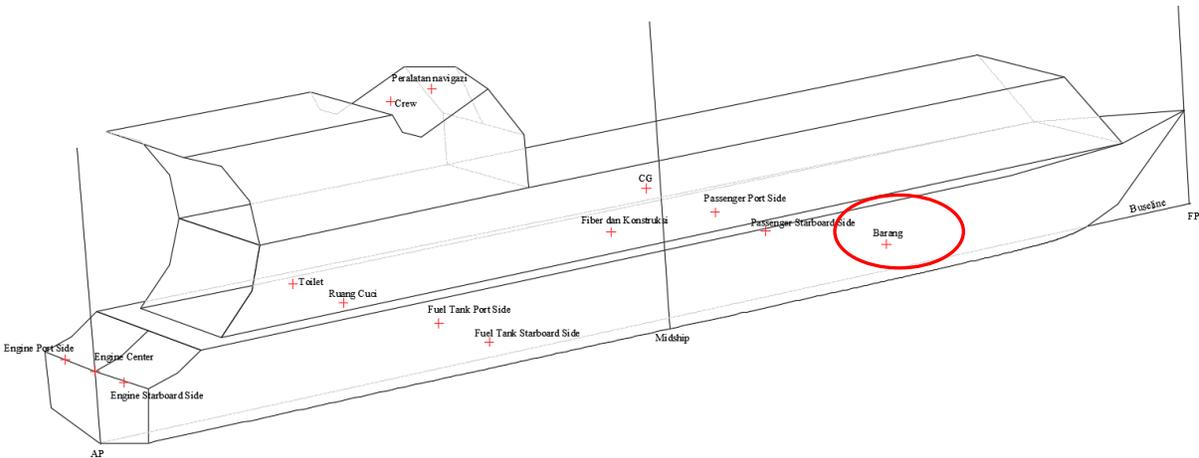
No	Item name	S G	Fluid type	Unit Mas. (ton)	Unit Vol. (ton)	Long Arm (m)	Trans arm (m)	Ver. arm (m)	Total FSM (ton.m)
1	Fiber & Constr.			1.2		6.35	0	0.98	0
2	Alat Navig.			0.04		4.21	0	3	0
3	crew			0.24		3.71	0	3	0
4	Barang			3.00		9.84	0	0.42	0
5	Engine Port			0.2		0	-0.6	0.79	0
6	Engine Center			0.2		0	0	0.79	0
7	Engine Stbd			0.2		0	0.6	0.79	0
8	Toilet			0.06		2.72	-0.67	1	0
9	Ruang Cuci			0.06		2.72	0.67	1	0
10	Passe. Port			2.39		7.94	0.58	0.78	0.12
11	Passe. Stbd			2.39		7.94	-0.58	0.78	0.12
12	FOT Port		Fuel oil	0.63	0.66	4.99	-0.72	0.42	0
13	FOT Stbd		Fuel oil	0.63	0.66	4.99	0.72	0.42	0
14	Tot.Loadcase			11.34	1.33	7.35	0.000	0.729	0.25
15	FS Correc.							0.022	
16	VCG fluid							0.751	

Gambar 6a menunjukkan kurva *GZ* dengan peletakan barang pada *roof top deck*. Nilai *GZ* maksimum berada pada sudut 21,8°, sedangkan nilai *GM* awal sebesar 0,135 m. Sementara Gambar 6b menunjukkan kurva *GZ* dengan peletakan barang pada *cabin deck* memiliki nilai *GZ* maximum berada pada sudut 34,5°, sedangkan nilai *GM* awal sebesar 0,631 m.

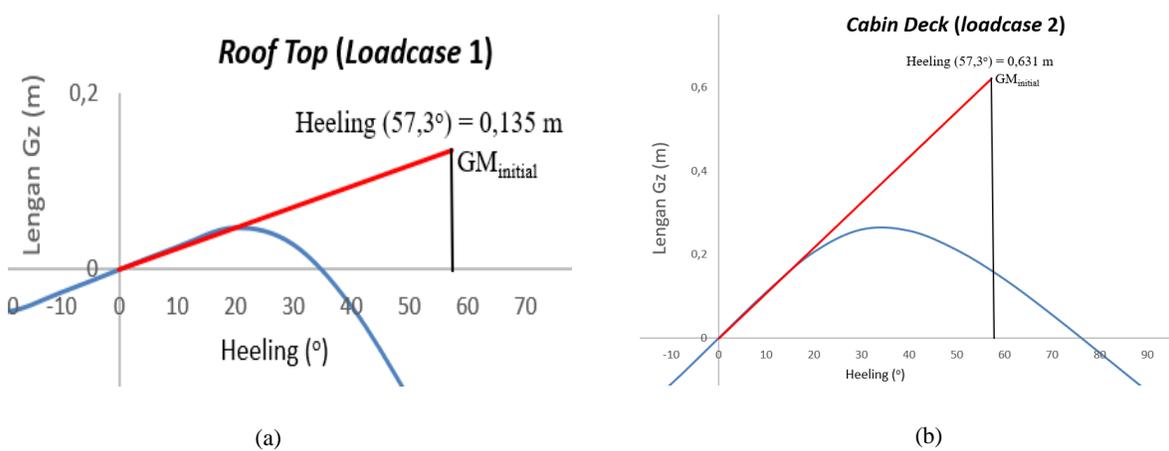
Analisis stabilitas pada *software maxurf stability* dilakukan mulai *heeling* 0 ~ 360°. Namun selang stabilitas (*range of stability*), yaitu *range* dimana nilai *GZ* bernilai positif, ketika berada pada selang *heeling* 0 ~ 90°, yang mana kapal akan kembali ke posisi awal setelah momen yang membuat kemiringan hilang (Rawson & Tupper, 1983).



Gambar 4. Skenario letak muatan loadcase 1 pada kapal speed boat



Gambar 5. Skenario letak muatan loadcase 2 pada kapal speed boat



Gambar 6. a) Kurva lengan stabilitas loadcase 1; b) Kurva lengan stabilitas loadcase 2.

Tabel 7. Hasil analisis pada *loadcase* 1 barang di *roof top*

Criteria	Value Std.	Unit	Actual	Status
A0-30	≥3.15	m.deg	0.94	fail
A0-40	≥5.15	m.deg	1.02	fail
A30-40	≥1.71	m.deg	0.07	fail
Max. GZ at 30°	≥0.2	m	0.02	fail
Angle of max GZ	≥25	deg	21.8	fail
In. GMt	≥0.15	m	0.13	fail

Tabel 8. Hasil analisis pada *loadcase* 2 barang di *cabin deck*

Criteria	Value Std.	Unit	Actual	Status
A0-30	≥3.15	m.deg	4.53	pass
A0-40	≥5.15	m.deg	7.16	pass
A30-40	≥1.71	m.deg	2.63	pass
Max. GZ at 30°	≥0.2	m	0.26	pass
Angle of max GZ	≥25	deg	34.5	pass
In. GMt	≥0.15	m	0.62	pass

3.3 Interpretasi Hasil Simulasi

Hasil analisis dari 2 skenario pemuatan barang dengan letak posisinya masing-masing ditunjukkan pada Tabel 7 dan 8. Tabel 7 menunjukkan hasil analisis *Maxsurf Stability* muatan barang yang diletakkan pada *roof top* menyatakan tidak memenuhi semua kriteria yang ditetapkan oleh *IMO*. Nilai *MG* yang terlalu kecil dan di bawah standar berpengaruh pada nilai *GZ* yang dihasilkan kecil. Akibatnya momen *koppel* yang dihasilkan terlalu kecil sehingga tidak dapat mengembalikan kapal ke posisi awal. Kondisi tersebut akan membuat kapal terbalik (*capsize*). Kondisi kapal terbalik adalah peristiwa fatal yang disebabkan oleh stabilitas kapal yang tidak memenuhi ketika beroperasi (Krata, 2008). Gerakan kapal saat beroperasi di perairan mempunyai efek dan andil begitu krusial terutama pada kelayaklautan kapal (*seaworthiness*). Kapal dianggap tidak layak laut, ketika aspek hidrodinamika berkualitas buruk yang membuat kapal dan awak kapal akan berhadapan dengan kondisi terburuk yang menimbulkan kerugian materil dan korban jiwa (O’Hanlon & McCauley, 1974). Peristiwa yang terjadi pada KM. Rejeki Baru Kharisma akibat ketidaklayakan stabilitas kapal saat berangkat dari pelabuhan membuat kapal tidak dapat bertahan lama di lautan dan akhirnya terjadi *capsize*. Beberapa dampak yang timbul karena gerakan kapal yang buruk seperti kapal terbalik akibat inklinasi yang *over* ketika terjadi gerakan *rolling*, kerusakan parah bagian konstruksi badan kapal atau pada konstruksi lainnya akibat adanya *additional force* yang timbul, dan lainnya (Hutauruk & Rengi, 2014).

Tabel 8 menunjukkan hasil analisis *Maxsurf Stability* muatan barang yang diletakkan pada *cabin deck* menyatakan memenuhi semua kriteria yang ditetapkan oleh *IMO*. Nilai *MG* yang besar dan di atas standar berpengaruh pada nilai *GZ* yang dihasilkan besar. Akibatnya momen *koppel* yang dihasilkan besar, sehingga dapat mengembalikan kapal ke posisi semula (stabil). Hal lain yang mempengaruhi nilai stabilitas dari suatu kapal adalah rasio antara lebar (*B*) dan sarat kapal

(*T*), makin tinggi perbandingan lebar dan sarat kapal, lengan pengembali akan semakin besar, dimana luasan di bawah kurva lengan statis sampai sudut kemiringan tertentu juga akan semakin besar. Perubahan lengan pengembali cenderung semakin kecil dengan bertambahnya perbandingan lebar dan sarat kapal. Makin kecil sarat kapal, *freeboard* kapal semakin besar sehingga dibutuhkan sudut kemiringan yang besar sampai tepi geladak terbenam ke dalam air. Lebar garis air kapal akan semakin besar dengan bertambahnya sudut kemiringan sampai kondisi dimana tepi geladak terbenam dalam air. Akibat dari fenomena tersebut, jari-jari metasentra (*MB*) mengalami peningkatan, sehingga lengan pengembali juga menjadi semakin besar dengan bertambahnya rasio lebar dan sarat kapal (Paroka, 2018).

Tahap akhir dari paper ini adalah menentukan nilai periode oleng (*T*) kapal pada setiap *loadcase*. Nilai *T* bisa ditentukan dengan persamaan 1 dan 2, sehingga dihasilkan periode oleng untuk *loadcase* 1 (T_1) = 6,24 detik, sedangkan periode oleng untuk *loadcase* 2 (T_2) = 2,88 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai periode oleng kapal (*T*) berbanding terbalik dengan nilai *MG* awal. Semakin besar nilai *MG* maka periode oleng (*T*) yang dihasilkan semakin kecil, begitupun sebaliknya. Pada *loadcase* 1 nilai periode oleng yang dihasilkan cukup besar yakni 6,24 detik. Nilai tersebut senada dengan penelitian lainnya bahwa kecenderungan sudut oleng kapal pada *heeling* ± 30° yang menghasilkan periode oleng sebesar 4,5 sampai 6 detik sangat beresiko tinggi ketika berlayar (Parlindungan & Hadi, 2010).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kondisi kapal dengan muatan barang yang di letakkan pada *roof top* (*loadcase* 1) tidak memenuhi kriteria (*Intact Stability*) Code A.749 sedangkan *loadcase* 2 (barang diletakkan pada *cabin deck*), didapatkan memenuhi semua kriteria berdasarkan (*intact stability*) Code A.749. Penempatan barang di *cabin deck* berefek kepada lengan pengembali kapal yang lebih baik dibandingkan

peletakan barang pada *roof top*. Dari penelitian ini didapatkan bahwa penyebab terbaliknya KM. rejeki Baru Kharisma adalah penempatan muatan (barang) di *roof top*, mengakibatkan titik pusat gravitasi kapal (G) mendekati titik metasentra (M). Pada kondisi tersebut didapatkan jarak titik metasentra ke lunas kapal (MK) = 1,362 m, jarak titik berat kapal ke lunas kapal (KG) = 1,227 m, dan jarak titik metacentra ke titik berat kapal (MG) = 0,135 m sehingga kapal tidak memiliki momen pengembali yang cukup untuk kembali pada posisi tegaknya karena lengan pengembali (GZ) yang kecil. Hasil analisis dari penelitian ini melengkapi hasil investigasi dari KNKT di mana kapal sebelum berlayar sudah tidak mempunyai stabilitas yang baik akibat penempatan muatan barang yang keliru.

Ucapan Terima Kasih

Ungkapan terimakasih kepada Dinas Perhubungan Laut Kabupaten Bulungan Kaltara, KNKT RI, dan Laboratorium Perencanaan Desain Gambar Kontruksi dan Permesinan Kapal Program Studi Teknik Perkapalan Institut Teknologi Kalimantan yang telah memfasilitasi penelitian ini hingga paper ini bisa dipublikasikan. Serta terimah kasih juga kepada *reviewer* yang tidak diketahui namanya sehingga paper ini layak dipublikasikan sebagai karya ilmiah.

Daftar Pustaka

- Ali, B. (2011). Evaluasi Bertin's Coefficient Pada Prediksi Roll Kapal Sarat Rendah Dalam Weather Criterion. *Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Kelautan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember,.
- Fadillah, A., Manullang, S., Irvana, R. (2019). Stabilitas, Hambatan Dan Olah Gerak Kapal Ikan Multi Purpose Net/Line Hauler 20 Gt Berdasarkan Kajian Ukuran Dan Bentuk Kasko Kapal. *Marine Fisheries: Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, 10(2), 117-128..
- Atwood, E.L., Pengelly. (1967). *Theoretical Naval Architecture*. Great Britain : Longmans.
- Bačkalov I, Bulian B, Cichowicz J. (2016). Ship Stability, Dynamics and Safety: Status and Perspectives from are View of Recent STAB Conferences and ISSW Events. *Ocean Engineering*. 116(6): 312-349.
- Barrass, C. B., Derrett, D. R. (2012). *Ship Stability For Masters and Mates*. Ed 7. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Bhattacharya R. (1978). *Dynamic of Marine Vehicles*. New York: John Wiley and Son, Inc.
- Boulougouris E, Cichowicz J, Jasionowski A, Konovessis D. (2016). Improvement of Ship Stability and Safety in Damaged Condition Through Operational Measures: Challenges and Opportunities. *Ocean Engineering*. 122(12), 311-316.
- Dinas Perhubungan Kabupaten Bulungan (2013). Rejeki Baru Kharisma (Tanda Selar: GT 6 No.454 B-14). Provinsi Kalimantan Utara..
- Dokkum, K. V. (2003). *Ship Knowledge: A Modern Encyclopedia*. the Netherlands: Dokmar.
- Fyson, J. (1985). *Design of Small Fishing Vessels*. England: Fishing News Book Ltd.
- Hind, J.A. (1967). *Stability and Trim of Fishing Vessel*. London: Fishing News Ltd.
- Hind, J. A. (1982) *Stability and Trim of Fishing Vessels and Other Small Ships*. United Kingdom: Fishing News Books.
- Hutauruk, RM., Rengi, P. (2014). Respons Gerakan Kapal Perikanan Hasil Optimasi terhadap Gelombang. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 19(1), 13-22.
- International Maritime Organization. (2002). Code On Stability For All Types Of Ships. London : International Maritime Organization.
- International Maritime Organization, (2008). International Code on Intact Stability, 2008- Part A. London : International Maritime Organization.
- Istopo. (1997). Stabilitas Kapal. Jakarta: Yayasan Corps Alumni Akademi Ilmu Pelayaran (CAAIP).
- Jin, D., Kite-Powell, H.L., Thunberg, E., Solow, A.R., Talley, W.K. (2002). A Model of Fishing Vessel Accident Probability. *Journal of Safety Research*. 33(4), 497-510.
- Jung, S.K., Roh, M.I., Kim, K.S. (2018). Arrangement Method of a Naval Surface Ship Considering Stability, Operability, and Survivability. *Journal Ocean Engineering*. 152(6), 316-333.
- Kayadoe, G. W., Dien, H. V., & Pamikiran, R. D. C. (2015). Kajian tentang stabilitas KM. Surya Prima yang dibuat di Desa Borgo, Kec. Tanawangko, Kab. Minahasa. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan Tangkap*, 2(1), 19-22..
- Komite Nasional Keselamatan Transportasi Republik Indonesia, (2018). FINAL KNKT.17.07.22.03 Laporan Investigasi Kecelakaan Pelayaran Terbaliknya Rejeki Baru Kharisma (GT 6 No. 454 B-14) Di Perairan Dermaga Tengkeyu-I, Tarakan, Kalimantan Utara, Republik Indonesia.
- Krata, P. (2008). Total Losses of Fishing Vessels Due to the Insufficient Stability. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2(3), 311- 315.
- Marjoni, B. H., Iskandar, M. I. (2010). Static and Dynamic Stability of a Purse seiner at Coastal Fishing Port in Lampulo Banda Aceh Nanggroe Aceh Darussalam. *Marine Fisheries: Journal of*

- Teknologi dan Manajemen Perikanan Laut, 1(2)*, 113-122.
- Matafi, S. N., Dien, H. V., Pangalila, F. P. (2015). Simulasi pengaruh trim terhadap stabilitas kapal purse seine. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan Tangkap*, 2, 13-18.
- Nomura, M. & Yamazaki, T. (1977). *Fishing Techniques I*. Tokyo: Japan International Corporation Agency.
- Novita, Y., Martiyani, N., Ariyani, RE. (2014). Kualitas Stabilitas Kapal Payang Palabuhanratu Berdasarkan Distribusi Muatan. *Jurnal IPTEKS PSP*. 1(1): 28-39
- O'Hanlon JF, McCauley ME. (1974). Motion Sickness Incidence as a Function of the Frequency and Acceleration of Vertical Sinusoidal Motion. *Aerospace Medicine*. 45(4): 366-375.
- Papanikolaou, A. (2014). Ship Design : methodologies of preliminary design. Springer.
- Parlindungan, M., Hadi E. S. (2010). Desain Kapal Ikan Dengan Bentuk Lambung Katamaran Yang Menggunakan Sistem Penggerak Layar Mesin Untuk Muatan Ikan Hidup. *TEKNIK*, 31(1),75-3 .
- Paroka, D. (2009). Analisis Tinggi Metacentra Dan Lambung Timbul Minimum Kapal Penyeberangan Antar Pulau. Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Paroka, D. (2018). Karakteristik Geometri dan Pengaruhnya Terhadap Stabilitas Kapal Ferry Ro-Ro Indonesia. *KAPAL*, 15(1),1-8 .
- Rawson KJ, Tupper EC. (1983). *Basic Ship Theory*. Ed. 3. London: Butterworth-Heinemann.
- Sachri, A. (2002). *Eстетika, Makna, Simbol dan Daya*. Bandung: ITB.
- Santoso, I. G. M., Sudjono, J. J. (1983). *Teori Bangunan Kapal*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan,.
- Utomo, B. (2010). Pengaruh Ukuran Utama Kapal Terhadap Displacement Kapal. *Teknik*. 31(1): 84-89.
- Vassalos, D. (2004). Risk-based Design: From Philosophy to Implementation. *The 2nd International Maritime Conference on Design for Safety*. Sakai, Jepang.
- Wakidjo, P. (1972). Stabilitas Kapal Jilid II. Penuntun dalam Menyelesaikan Masalah. Yogyakarta.
- Wang, J. A., Pillay, Y. S., Kwon, A. D., Wall, Loughran CG. (2005). An Analysis of Fishing Vessel Accidents. *Accident Analysis & Prevention*. 37(6): 1019-1024.