

ANALISIS KESELAMATAN SELF PROPELLED BARGE 6000 DWT SEBAGAI SARANA TRANSPORTASI BATUBARA

SAFETY ANALYSIS OF SELF PROPELLED BARGE 6000 DWT COAL AS A MEANS OF TRANSPORTATION

Sjafriil Karana

Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim
Gedung Teknologi 2, Lt3, PUSPIPTEK, Serpong
Email : sjafriil.karana@bppt.go.id

Abstrak

Kinerja keselamatan kapal dalam pelayarannya sangat tergantung kepada stabilitasnya, dengan demikian memprediksi stabilitas kapal sejak awal mulai dari tahap perencanaan menjadi sangat penting dilihat dari keselamatan kapal, oleh sebab itu kajian ini bertujuan menganalisis dari aspek stabilitasnya kapal tongkang batubara curah yang memiliki sistem propulsi sendiri (*self propelled barge*) 6000 DWT sebagai sarana transportasi batubara. Metode kajian yang digunakan untuk menghitung dan menganalisis stabilitas adalah memanfaatkan software komersial *Hydromax* dengan input data berupa *lines plan*, rencana penggunaan tangki-tangki dan kompartemen kapal, dan *draft* kapal dalam beberapa kondisi pemuatan yaitu muatan kosong, muatan penuh, dan muatan *ballast*, dan dengan asumsi perhitungan kondisi kapal tanpa kerusakan. Hasil perhitungan yang diperoleh yaitu berupa kurva GZ menunjukkan bahwa pada beberapa kondisi pemuatan pada kapal memberikan nilai stabilitas yang sesuai dengan persyaratan kriteria desain dari IMO.

Kata kunci : keselamatan transportasi, stabilitas spb.

Abstract

The performance of ship safety in her sailing operation is very dependent on its stability, so the prediction of its stability is very important to be conducted from the early stage of the planning process based on the ship safety point of view. Therefore, this study is aimed to analyze the stability aspect of the coal barges having its own propulsion system (self propelled barge) 6000 dwt as a means of transporting coal. The method of study used to calculate and analyze the stability is utilizing commercial software of hydromax by using the input data from lines plan, tanks arrangement plan, ship components, and ship draught in various conditions of loading such as empty loading condition, full loaded condition, and ballast condition by an assumption that the condition of the ship without any damage. The obtained result from the calculation in the form of GZ curve shows that the value of ship stability in various loading conditions has met the requirements in accordance with the requirements criteria of the IMO.

Keywords : transportation safety, spb stability

Diterima (received) : 20 Mei 2016, Direvisi (reviewed) : 20 Juni 2016, Disetujui (accepted) : 15 Juli 2015

PENDAHULUAN

Sementara ini dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik yang terus meningkat secara nasional¹⁾, pemerintah sedang dan akan membangun sejumlah

pembangkit tenaga listrik, khusus untuk Indonesia bagian Timur jenis pembangkitnya berupa pusat listrik tenaga uap (pltu) dengan batubara sebagai bahan bakarnya, yang saat ini sudah tersebar di 13 lokasi²⁾. Untuk

memasok kebutuhan batubara tentu dibutuhkan sarana pengangkutnya, dan dalam pengadaannya masih banyak kendala terutama dengan ukuran kapal yang terbatas dan proses bongkar muat yang belum maksimal mengingat sebagian besar pltu tersebut tidak memiliki pelabuhan khusus untuk bongkar muat batubara, dan rata-rata pltu yang berukuran kecil tersebut hanya membutuhkan pasokan batubara yang relative sedikit, sehingga sangat kurang efisien jika dilayani dengan kapal batubara berukuran besar.

Oleh sebab itu berdasarkan analisis karakteristik terhadap beberapa jenis sarana dan kebutuhan batubara di setiap pltu, diperoleh jenis *self propelled barge* ukuran 6000 DWT yang paling cocok dioperasikan untuk pengangkutan batubara dimaksud. *Self propelled Barge* (SPB) adalah kapal berbentuk tongkang yang menggunakan tenaga pendorong sendiri. Kapal SPB ini mempunyai kemampuan *maneuverability* dan stabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan tongkang dorong (*tug barge*), biaya pembangunannya secara signifikan lebih rendah dibanding dengan kapal jenis *bulk carrier*.

Mengingat banyaknya kapal yang tenggelam di Indonesia yang disebabkan karena kemampuan stabilitas kapal yang kurang baik, adanya pemuatan yang melebihi kapasitas kapal, dan kondisi perairan di Indonesia pada wilayah tertentu cukup ekstrim dan membahayakan pelayaran. Hal tersebut tentunya membuat kestabilan kapal merupakan aspek yang penting diketahui dalam proses perancangan kapal, karena kapal akan mengarungi perairan yang memiliki dinamika gelombang yang sangat bervariasi, dimana adanya gelombang akan memberikan gaya luar pada kapal dari segala arah yang akhirnya menyebabkan kapal mengalami sejumlah gerakan yaitu : *rolling, heaving, yawing, pitching, swaying dan surging*. Perhitungan stabilitas kapal merupakan komponen dasar dari kelaikan kapal sehingga kapal dapat beroperasi dengan aman di laut, pada kapal yang memiliki stabilitas yang baik dapat dipastikan keamanan penumpang dan atau barang muatan yang berada di atas kapal akan terjamin. Terdapat dua jenis perhitungan stabilitas untuk kapal, yaitu pertama *intact stability*, yaitu perhitungan stabilitas kapal utuh/ tidak bocor yang dihitung pada beberapa kondisi tangki untuk tiap-tiap derajat kemiringan kapal.

Perhitungan *intact stability* dilakukan untuk mengetahui kemampuan kapal kembali pada posisi kesetimbangannya

setelah mengalami kemiringan. Yang kedua adalah *damage stability* adalah perhitungan kapal bocor (*damage*) yang dihitung pada beberapa kondisi untuk tiap-tiap derajat kemiringan. Perhitungan *damage stability* ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan kapal untuk menahan kebocoran agar tetap stabil ketika lambung kapal rusak / bocor. Dalam proses perhitungan stabilitas kapal, ada beberapa kriteria yang menjadi persyaratan apakah stabilitas suatu kapal memenuhi atau tidak, kriteria tersebut secara umum mengacu peraturan *International Maritime Organization* (IMO).

BAHAN DAN METODE

Bahan

Menurut Undang Undang Nomor 17 Tahun 2008 Pasal 124 Tentang Keselamatan Kapal, menyebutkan bahwa setiap pengadaan, pembangunan, dan pengerjaan kapal termasuk perlengkapannya serta pengoperasian kapal di perairan Indonesia harus memenuhi persyaratan keselamatan kapal, salah satu diantaranya berhubungan dengan stabilitas kapal³. Stabilitas atau keseimbangan dari kapal, merupakan kemampuan dari sebuah kapal untuk kembali kepada kedudukan semula setelah mendapat kemiringan yang disebabkan oleh pengaruh gaya-gaya dari luar, misalnya angin, gelombang, miring karena gerak memutar dan lain sebagainya. Fenomena ini disebabkan oleh adanya hubungan antara letak titik apung (*center of buoyancy*) yang dipengaruhi oleh bentuk geometris badan kapal, dan letak titik berat kapal (*center of gravity*) yang merupakan fungsi dari distribusi berat kapal dan muatan secara vertikal maupun longitudinal.

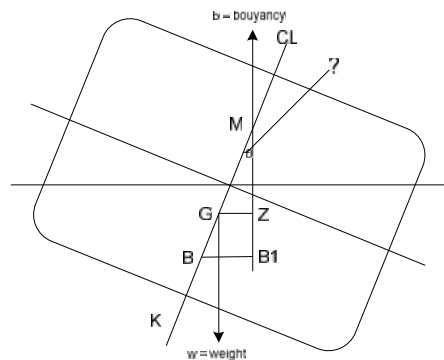
Demikian halnya kapal tongkang/ SPB pengangkut batubara, merupakan kapal *flush decker* dengan *freeboard* yang rendah, sehingga memungkinkan memiliki stabilitas yang besar. Bila dibandingkan dengan kapal dengan kapasitas angkut yang sama, maka SPB memiliki sarat air yang lebih rendah karena mempunyai bentuk lambung bagian bawah yang datar, disamping itu kapal menjadi lebih stabil, sehingga menurut Mulya, Harryadi (2008) aspek teknis ini dapat dijadikan dasar pemilihannya⁴. Disamping itu menurut Cahyono (2006), penggunaan SPB dengan kecepatan dinas > 5 knots lebih menguntungkan dibanding *Tug-Barge System* dengan kapasitas angkut yang sama⁵.

Dilihat dari sifatnya, stabilitas kapal dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu statis dan dinamis, khusus untuk stabilitas

statis diperuntukkan bagi kapal dalam keadaan diam dan terdiri dari stabilitas melintang dan membujur. Stabilitas melintang adalah kemampuan kapal untuk tegak sewaktu mengalami kemiringan dalam arah melintang yang disebabkan oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya, sedangkan stabilitas membujur adalah kemampuan kapal untuk kembali ke kedudukan semula setelah mengalami kemiringan dalam arah yang membujur oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya.

Kinerja keselamatan pelayaran kapal pada dasarnya tergantung stabilitasnya, dalam hal ini posisi *centre of gravity* (G) memegang peran yang signifikan, dimana pergerakannya dipengaruhi oleh sistem pemuatan dan pergerakan kapal berlayar akibat pengaruh angin dan gelombang. Penempatan muatan sangat menentukan posisi titik G, kapal yang banyak membawa muatan di geladak akan menaikkan posisi titik G sehingga memungkinkan kapal dalam kondisi tidak stabil.

Dengan demikian penataan muatan perlu diusahakan sebaik mungkin agar dapat menurunkan posisi titik G sehingga titik *metacentra* (M) berada pada jarak atau tinggi yang optimal. Jarak titik MG berpengaruh kepada lengan stabilitas (*righting lever, GZ*)



Gambar 1.
Momen penagak atau lengan penagak

Dengan demikian memprediksi stabilitas kapal sejak awal mulai dari tahap perencanaan menjadi sangat penting dilihat dari keselamatan kapal, Barras (2006)⁶⁾. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Jovanovski Z, (2009)⁷⁾ tentang analisis stabilitas kapal, menyatakan bahwa fenomena *parametric rolling* merupakan bagian dari stabilitas yang sangat vital bagi transportasi kapal dan muatannya. Dari semua gerakan kapal di laut, kondisi yang sangat kritis dan dapat menyebabkan kapal terbalik kapal adalah bila terjadi kondisi

yang dapat menghasilkan momen penagak/ stabilitas untuk dapat mengembalikan kapal dalam kondisi tegak. Momen penagak adalah momen yang akan mengembalikan kapal ke kedudukan tegaknya setelah kapal miring karena gaya-gaya dari luar dan gaya-gaya tersebut tidak bekerja lagi.

Pada waktu kapal miring, maka titik B pindah ke B1, sehingga garis gaya berat bekerja ke bawah melalui G dan gaya keatas melalui B1. Titik M merupakan busur dari gaya-gaya tersebut. Bila dari titik G ditarik garis tegak lurus ke B1M maka berhimpit dengan sebuah titik Z. Garis GZ inilah yang disebut dengan lengan penagak (*righting arms*) lihat Gambar 1.

Seberapa besar kemampuan kapal tersebut untuk menegak kembali diperlukan momen penagak (*righting moment*). Pada waktu kapal dalam keadaan senget maka displasemennya tidak berubah, yang berubah hanyalah faktor dari momen penagaknya. Jadi artinya nilai GZ nyalah yang berubah karena nilai momen penagak sebanding dengan besar kecilnya nilai GZ, sehingga GZ dapat dipergunakan untuk menandai besar kecilnya stabilitas kapal. Untuk itu IMO mengeluarkan rekomendasi tentang jarak titik MG *initial* untuk semua kapal yang tidak boleh kurang dari 0,15 cm.

oleng (*rolling*) (Surendran S. dan Reddy Ramana J.V, 2003)⁸⁾.

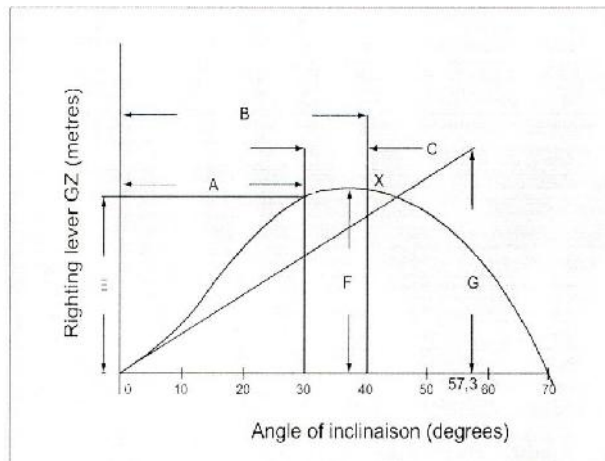
Berbagai jenis kecelakaan kapal yang berdampak pada buruknya kinerjanya keselamatan transportasi laut tidak terlepas dari kegagalan yang muncul baik dalam tahap pembangunan maupun selama proses pengoperasiannya (Malisan Johny, 2013)⁹⁾. Dari beberapa kasus kecelakaan kapal diketahui bahwa musibah yang menimpa kapal umumnya diakibatkan oleh karena kapal kehilangan stabilitasnya (Bahreisy, 2004)¹⁰⁾. Salah satu cara untuk mengetahui penyebab kecelakaan adalah melalui kajian

stabilitas, untuk maksud tersebut, kurva GZ merupakan salah satu parameter yang baku dalam mengukur kemampuan stabilitas suatu kapal (Gambar2), dalam hal ini perhitungan kurva GZ yang efisien dapat dilakukan melalui stabilitas statis. Meskipun telah diketahui bahwa peristiwa terbaliknya kapal merupakan fenomena dinamis, akan tetapi pertimbangan stabilitas statis masih menjadi alat ukur bagi kapal. Oleh sebab itu salah satu badan internasional yang berwenang dalam keselamatan kapal yaitu *International Maritime Organization (IMO)*, melalui *IMO Resolution A.749(18)*¹¹⁾ telah menetapkan kriteria stabilitas minimum sebagai berikut:

1) Luas dibawah lengan stabilitas (*righting lever curve / GZ curve*) tidak boleh kurang dari 0,055 m-rad sampai pada sudut kemiringan (*heeling angle*) 30°; tidak kurang dari 0,090 m-rad pada kemiringan 40° atau *flooding angle* θ_f jika sudut ini kurang dari 40°. Kemudian, luas dibawah *righting lever curve (GZ curve)*

antara 30° dan 40° atau antara 30° dan θ_f tidak boleh kurang dari 0,030 m.rad. θ_f adalah *heeling angle* bukaan (*opening*) pada *hull*, bangunan atas (*superstructure*) atau rumah geladak (*deckhouse*) yang tidak kedap.

- 2) Lengan stabilitas GZ harus minimal 0,2 m pada *heeling angle* yang tidak boleh kurang dari 30°. *Righting arm lever (GZ)* dapat dikurangi berdasarkan keputusan otoritas yang berkompeten tetapi tidak lebih dari 2(24-L)%, dimana L (dalam meter) adalah panjang kapal.
- 3) *Righting lever maksimum (GZmax)* diperoleh pada sudut yang dapat lebih dari 30° tetapi tidak kurang dari 25°.
- 4) Tinggi *metacenter (GM)* tidak boleh kurang dari 0,35 m untuk kapal geladak tunggal. Pada kapal dengan bangunan atas (*superstructure*) penuh, setelah koreksi terhadap efek permukaan bebas (*free surface*), tinggi *metacentra (MG)* tidak boleh kurang dari 0,15 m.



Sumber : Malisan Johny, 2013
Gambar 2.

Lengan stabilitas teoritis sesuai ketentuan IMO

Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat deskriptif analysis yaitu untuk memberikan gambaran yang jelas tentang stabilitas SPB 6000 Dwt dalam pengangkutan batura di perairan laut Indonesia bagian timur. Untuk mengetahui kemampuan SPB ini dilakukan melalui analisis/ perhitungan dengan menggunakan *software Hydromax-Marksurf*, dimana input programnya meliputi : a) Rencana Garis (*Lines Plan*), b) rencana penggunaan tangki-tangki dan kompartemen kapal, dan, c) Sarat kapal (*draft*) desain.

Sebagai persyaratan yang wajib dipenuhi dalam analisis stabilitas ini,

perhitungan stabilitas kapal harus mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh biro klasifikasi (*Marine Authority*) yang ditunjuk, yaitu mengacu kepada IMO. Dalam hal ini proses analisis stabilitas yang dilakukan berdasarkan standar *IMO Code A.749(18) Ch 3 - design criteria applicable to all ships* dengan ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

1. *Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.1:*
 - a. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng 0° – 30° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 3,151 m.deg,

- b. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng $0^{\circ} - 40^{\circ}$ (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 5,157 m.deg,
- c. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng $30^{\circ} - 40^{\circ}$ (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 1,719 m.deg.
- 2. *Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.2:* nilai GZ maksimum yang terjadi pada sudut $30^{\circ} - 180^{\circ}$ (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,2 m.
- 3. *Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.3:* sudut pada nilai GZ maksimum tidak boleh kurang atau sama dengan 25° (deg).
- 4. *Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.4:* nilai GM awal pada sudut 0° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,15 m.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Umum

Sebagaimana diketahui kapal ini diperuntukan untuk mengangkut batubara dari pelabuhan Sorong sebagai pelabuhan asal untuk memenuhi kebutuhan batubara sejumlah PLTU yang tersebar Kawasan Timur Indonesia. Akan tetapi dalam pengadaannya masih terkendala dengan berbagai factor terutama dengan ukuran kapal yang terbatas dan proses bongkar muat yang belum maksimal mengingat sebagian besar PLTU tidak memiliki pelabuhan khusus untuk bongkar muat batubara. Di samping itu lokasi sebaran PLTU yang rata-rata berukuran kecil hanya membutuhkan pasokan batubara yang

relative sedikit, sehingga sangat kurang efisien jika dilayani dengan kapal- kapal batubara berkapasitas besar.

Oleh sebab itu berdasarkan karakteristik beberapa jenis sarana dan kebutuhan batubara di setiap PLTU, diperoleh jenis *self propelled barge* ukuran 6000 Dwt yang paling cocok dioperasikan untuk pengangkutan batubara dimaksud (Karana Sjafril,2015)¹². *Self propelled Barge* adalah kapal berbentuk tongkang yang menggunakan tenaga pendorong sendiri. Kapal SPB ini mempunyai kemampuan *maneuverability* dan stabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan tongkang dorong (*tug barge*), biaya pembangunan secara signifikan lebih rendah dibanding dengan kapal jenis *bulk carrier*.

2. Ukuran Utama Kapal

Dengan telah ditentukannya ukuran kapal pengangkut batubara yaitu 6000 Dwt, maka tahap selanjutnya dalam merancang kapal (*concept design*) adalah proses desain yaitu menterjemahkan permintaan pemesan/pemilik kapal ke dalam ketentuan-ketentuan dasar (*basic requirement*) dari kapal yang akan direncanakan sehingga dapat dihasilkan ukuran utama kapal (*principle dimention*) seperti panjang, lebar, tinggi, sarat, tenaga mesin utama, dan dimensi lainnya seperti kecepatan(*speed*), range (*endurance*), bobot mati (*deadweight*). Dari hasil proses desain yang telah dilakukan diperoleh ukuran utama (*principle dimention*) kapal sebagai berikut :

Tabel 1.
Ukuran Utama Kapal SPB 6000 DWT

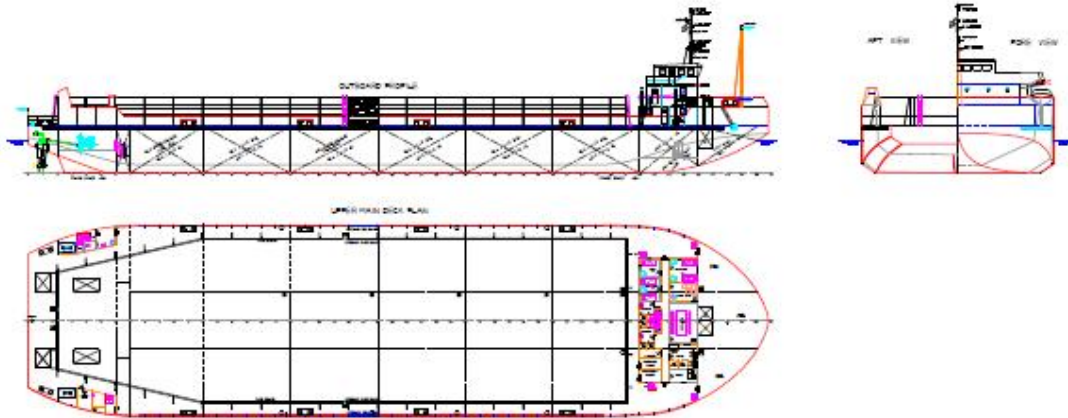
URAIAN	DIMENSI	SATUAN
<i>Loa (Length of all)</i>	92.964	m
<i>Lpp (Length between perpendicular)</i>	91.4	m
<i>B (Breadth moulded)</i>	24	m
<i>D (Depth moulded)</i>	6	m
<i>df (Draft on fore perpendicular)</i>	4	m
<i>da (Draft on after perpendicular)</i>	4	m
<i>Displ (Displacement)</i>	7.529	ton
<i>Vs (Kecepatan dinas)</i>	10	knot

Sumber : Hasil Analisis Data, 2014

3. Gambar Rencana Umum SPB

Kapal SPB ini direncanakan untuk mengangkut batubara dari pelabuhan asal Sorong ke pelabuhan tujuan yaitu sejumlah PLTU yang tersebar di Kawasan Timur Indonesia. Kompartemen kapal terdiri dari 1 ruangan untuk kamar mesin yang terletak dibagian belakang kapal, 7 ruangan untuk

muatan batubara ditempatkan dibagian tengah kapal, dan 1 ruangan lagi untuk peralatan dan air ballast yang berada dibagian depan kapal. Bagian dasar kapal digunakan untuk tanki bahan bakar dan air tawar, bangunan atas untuk ruangan kemudi ditempatkan dibagian depan kapal.



Gambar (3) :
Rencana Umum Kapal Self Propelled Barge (Sumber : Hasil Olahan Data, 2014)

4. Analisis Stabilitas SPB

Seperti dijelaskan diatas stabilitas kapal adalah ukuran dari kemampuannya untuk menahan pengaruh dari angin, gelombang, dan beban lainnya saat kapal sedang berlayar. Kemampuan lainnya adalah untuk menahan kapal jangan sampai terbalik saat oleng yaitu dengan adanya lengan stabilitas/pengembali (GZ) yang cukup. Oleh sebab itu perhitungan stabilitas kapal merupakan komponen dasar dari kelaikan kapal sehingga kapal dapat beroperasi dengan aman di laut. Dengan demikian kapal yang memiliki stabilitas yang baik dapat dipastikan bahwa keamanan penumpang dan atau barang muatan yang berada di atas kapal dapat terjamin.

1) Load Case

Dalam menghitung stabilitas suatu kapal harus membuat variasi muatan (penumpang dan barang) pada beberapa kondisi muatan (*loadcase*) sehingga diketahui stabilitas untuk tiap kondisinya. *Loadcase* ditinjau pada 5 (lima) kondisi yang merepresentasikan *load condition* pada saat kapal beroperasi di perairan. Sedangkan persyaratan stabilitas mengacu pada *standard requirements* diatas, yang telah ditetapkan oleh IMO, kondisi yang dimaksud tersebut adalah seperti berikut ini:

- Kondisi pertama merupakan kondisi kapal kosong (*light ship*),

- Kondisi kedua merupakan kondisi kapal dengan pemuatan penuh berangkat (*fully loaded departure*),
- Kondisi ketiga merupakan kondisi kapal dengan pemuatan penuh tiba (*fully loaded arrival*),
- Kondisi keempat merupakan kondisi kapal dengan pemuatan balas saat berangkat (*ballast in departure*),
- Kondisi kelima merupakan kondisi kapal dengan pemuatan balas saat tiba (*ballast in arrival*).

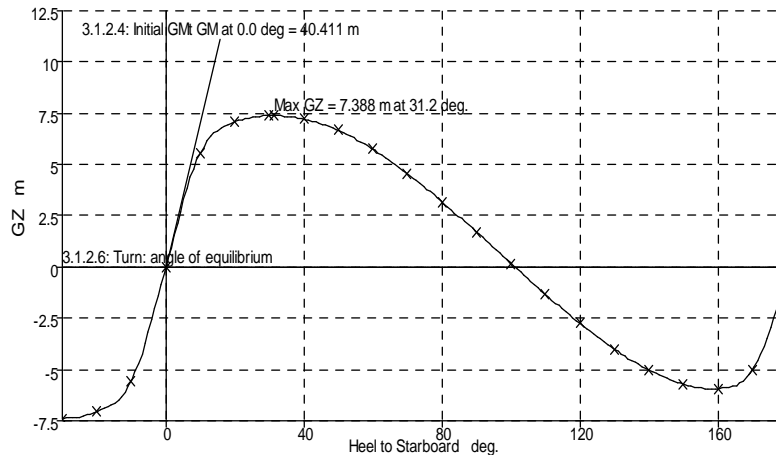
2) Output Program

Dari hasil analisa perhitungan diperoleh beberapa output program perhitungan stabilitas kapal pada setiap kondisi *load case*. Analisis perhitungan stabilitas SPB 6000 DWT dilakukan pada kondisi-kondisi pembebanan/ pemuatan disaat berlayar. Adapun analisis pada *loadcase* pada SPB 6000 DWT adalah sebagai berikut :

a. Loadcase - Light Ship, Damage Case - Intact

Free to Trim Relative Density (*specific gravity*) = 1.025;
(Density = 1.0252 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG, Gambar 4.



Sumber : Hasil Analisis, 2014

Gambar 4 :

Kurva stabilitas pada kondisi *light ship* dan *free to trim*

Pada kondisi kapal kosong, area dibawah kurva *righting lever (GZ curve)* pada sudut oleng 0°-30°, direkomendasikan tidak boleh kurang dari 3,151 m.deg, nilai yang didapatkan pada simulasi numerik adalah 168,456 m.deg. Pada sudut oleng 0°-40°, area di bawah kurva GZ direkomendasikan tidak kurang dari 5,157 m.deg, nilai yang didapat dari simulasi numerik yaitu sebesar 241,774 m.deg. Sedangkan pada sudut oleng antara 30°-40°, area di bawah kurva GZ direkomendasikan tidak boleh kurang dari 1,719 m.deg, nilai yang didapat dari simulasi numerik yaitu sebesar 73,318 m.deg.

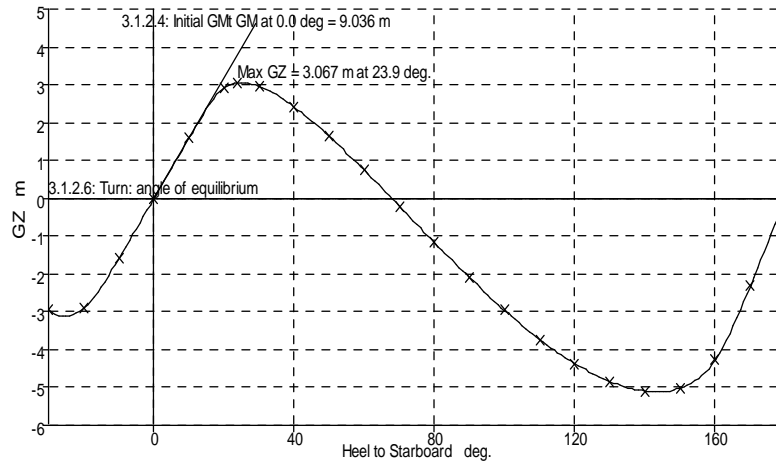
Maksimum GZ pada sudut oleng 30° direkomendasikan setidaknya sebesar 0,2 m, sedangkan nilai yang didapat dari hasil simulasi numerik sebesar 7,388 m. Besar sudut oleng yang terjadi pada maksimum GZ direkomendasikan tidak boleh kurang dari 25°. Nilai yang didapat dari simulasi numerik sebesar 31,4°. Tinggi *metacentric* awal (*initial GMt*) tidak boleh kurang dari 0,15 m. Nilai yang didapat dari simulasi numerik adalah 40,411 m. Sudut oleng yang terjadi saat penumpang berpindah dari satu sisi ke sisi yang lain sebagaimana didefinisikan dalam IMO Res.A. 749(18) paragraf 3.5.2.6 sampai 3.5.2.9, tidak boleh lebih dari 10°. Pada simulasi numerik didapatkan nilai sudut oleng pada kondisi tersebut sebesar 0°. Sudut oleng pada saat kondisi kapal belok,

disyaratkan tidak boleh lebih dari 10°. Nilai yang didapatkan dari simulasi numerik untuk sudut oleng pada saat belok adalah sebesar 0°.

Kemampuan kapal untuk menahan efek gabungan dari tiupan angin dan rolling harus dibuktikan untuk setiap standar pembebanan. Pada kondisi kapal terkena efek angin dan rolling, IMO mensyaratkan sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil tidak boleh lebih dari 16°. Pada simulasi numerik didapatkan besar sudut oleng yang terbentuk adalah 0,1°. Sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil tidak boleh lebih dari 80% sudut tepi deck yang tercelup air, dengan kata lain perbandingan besar sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil dengan sudut tepi deck yang tercelup air tidak boleh lebih dari 80%. Nilai yang didapatkan dari simulasi numerik adalah 0,235%. Perbandingan area 1 dengan area 2 seperti pada penjelasan IMO Res. A. 749(18) paragraf 3.2.2.1 tidak boleh kurang dari 100%. Nilai yang didapat dari simulasi numerik adalah 230,256%.

b. Loadcase - Fully Loaded Departure, Damage Case - Intact

Free to Trim Relative Density (specific gravity) = 1.025; (Density = 1.0252 tonne/m³)
 Fluid analysis method: Use corrected VCG, Gambar 5.



Sumber : Hasil Analisis, 2014

Gambar 5 :

Kurva stabilitas pada kondisi full I

Pada kondisi kapal muatan penuh berangkat, area dibawah kurva *righting lever* (*GZ curve*) pada sudut oleng 0° - 30° , direkomendasikan tidak boleh kurang dari 3,151 m.deg, nilai yang didapatkan pada simulasi numerik adalah 61,425 m.deg. Pada sudut oleng 0° - 40° , area di bawah kurva GZ direkomendasikan tidak kurang dari 5,157 m.deg, nilai yang didapat dari simulasi numerik yaitu sebesar 88,562 m.deg. Sedangkan pada sudut oleng antara 30° - 40° , area di bawah kurva GZ direkomendasikan tidak boleh kurang dari 1,719 m.deg, nilai yang didapat dari simulasi numerik yaitu sebesar 27,137 m.deg.

Maksimum GZ pada sudut oleng 30° direkomendasikan setidaknya sebesar 0,2 m, sedangkan nilai yang didapat dari hasil simulasi numerik sebesar 2,957 m. Besar sudut oleng yang terjadi pada maksimum GZ direkomendasikan tidak boleh kurang dari 25° . Nilai yang didapat dari simulasi numerik sebesar $23,9^{\circ}$. Tinggi metacentric awal (*initial GMt*) tidak boleh kurang dari 0,15 m. Nilai yang didapat dari simulasi numerik adalah 9,036 m. Sudut oleng yang terjadi saat penumpang berpindah dari satu sisi ke sisi yang lain sebagaimana didefinisikan dalam IMO Res. A. 749(18) paragraf 3.5.2.6 sampai 3.5.2.9, tidak boleh lebih dari 10° . Pada simulasi numerik didapatkan nilai sudut oleng pada kondisi tersebut sebesar 0° . Sudut oleng pada saat kondisi kapal belok,

disyaratkan tidak boleh lebih dari 10° . Nilai yang didapatkan dari simulasi numerik untuk sudut oleng pada saat belok adalah sebesar 0° .

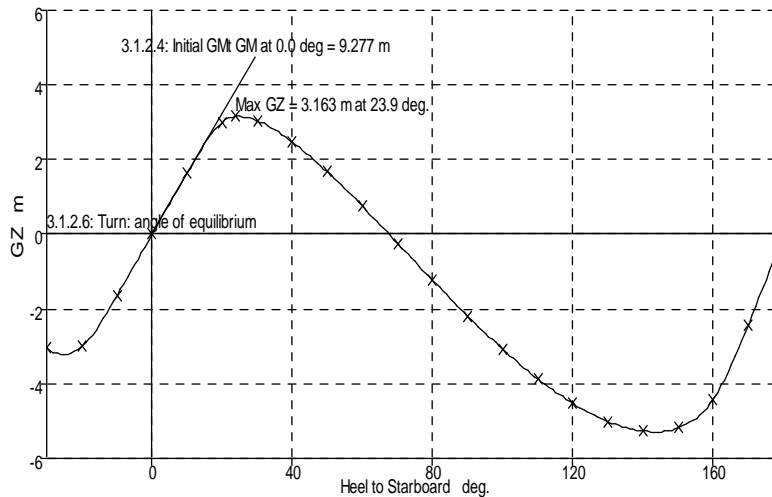
Kemampuan kapal untuk menahan efek gabungan dari tiupan angin dan rolling harus dibuktikan untuk setiap standar pembebanan. Pada kondisi kapal terkena efek angin dan rolling, IMO mensyaratkan sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil tidak boleh lebih dari 16° . Pada simulasi numerik didapatkan besar sudut oleng yang terbentuk adalah $0,1^{\circ}$. Sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil tidak boleh lebih dari 80% sudut tepi deck yang tercelup air, dengan kata lain perbandingan besar sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil dengan sudut tepi deck yang tercelup air tidak boleh lebih dari 80%.

Nilai yang didapatkan dari simulasi numerik adalah 0,541%. Perbandingan area 1 dengan area 2 seperti pada penjelasan IMO Res. A. 749(18) paragraf 3.2.2.1 tidak boleh kurang dari 100%. Nilai yang didapat dari simulasi numerik adalah 232,145%.

c. Loadcase - Fully Loaded Arrival, Damage Case - Intact

Free to Trim Relative Density (specific gravity) = 1.025; (Density = 1.0252 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG, Gambar 6.



Sumber : Hasil Analisis, 2014

Gambar 6:

Kurva stabilitas pada kondisi full loaded arrival dan free to trim

Pada kondisi kapal muatan penuh tiba, area dibawah kurva righting lever (GZ curve) pada sudut oleng 0° - 30° , direkomendasikan tidak boleh kurang dari 3,151 m.deg, nilai yang didapatkan pada simulasi numerik adalah 63,284 m.deg. Pada sudut oleng 0° - 40° , area di bawah kurva GZ direkomendasikan tidak kurang dari 5,157 m.deg, nilai yang didapat dari simulasi numerik yaitu sebesar 91,185 m.deg.

Sedangkan pada sudut oleng antara 30° - 40° , area di bawah kurva GZ direkomendasikan tidak boleh kurang dari 1,719 m.deg, nilai yang didapat dari simulasi numerik yaitu sebesar 27,901 m.deg.

Maksimum GZ pada sudut oleng 30° direkomendasikan setidaknya sebesar 0,2 m, sedangkan nilai yang didapat dari hasil simulasi numerik sebesar 3,045 m. Besar sudut oleng yang terjadi pada maksimum GZ direkomendasikan tidak boleh kurang dari 25° . Nilai yang didapat dari simulasi numerik sebesar $23,9^{\circ}$. Tinggi metacentric awal (initial GMT) tidak boleh kurang dari 0,15 m. Nilai yang didapat dari simulasi numerik adalah 9,277 m.

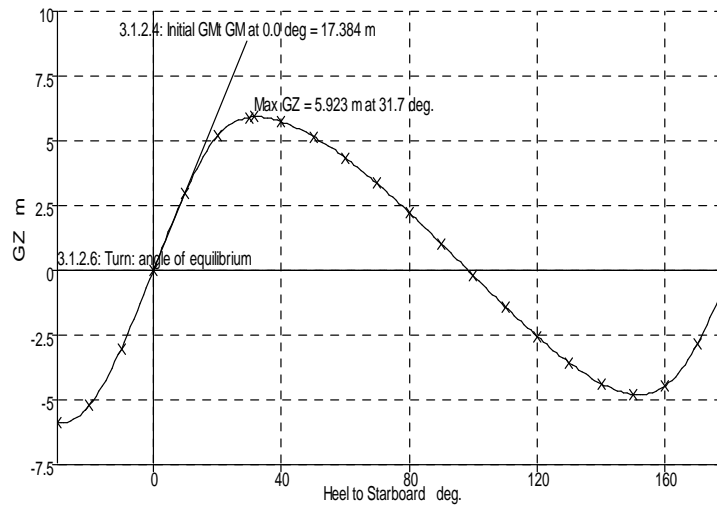
Sudut oleng yang terjadi saat penumpang berpindah dari satu sisi ke sisi yang lain sebagaimana didefinisikan dalam IMO Res. A. 749(18) paragraf 3.5.2.6 sampai 3.5.2.9, tidak boleh lebih dari 10° . Pada simulasi numerik didapatkan nilai sudut oleng pada kondisi tersebut sebesar 0° .

Sudut oleng pada saat kondisi kapal belok, disyaratkan tidak boleh lebih dari 10° . Nilai yang didapatkan dari simulasi numerik untuk sudut oleng pada saat belok adalah sebesar 0° .

Kemampuan kapal untuk menahan efek gabungan dari tiupan angin dan rolling harus dibuktikan untuk setiap standar pembebanan. Pada kondisi kapal terkena efek angin dan rolling, IMO mensyaratkan sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil tidak boleh lebih dari 16° . Pada simulasi numerik didapatkan besar sudut oleng yang terbentuk adalah $0,1^{\circ}$. Sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil tidak boleh lebih dari 80% sudut tepi deck yang tercelup air, dengan kata lain perbandingan besar sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil dengan sudut tepi deck yang tercelup air tidak boleh lebih dari 80%. Nilai yang didapatkan dari simulasi numerik adalah 0,469%. Perbandingan area 1 dengan area 2 seperti pada penjelasan IMO Res. A. 749(18) paragraf 3.2.2.1 tidak boleh kurang dari 100%. Nilai yang didapat dari simulasi numerik adalah 231,942%.

d. Loadcase - Ballast in the Departure, Damage Case - Intact

Free to Trim Relative Density (specific gravity) = 1.025; (Density = 1.0252 tonne/m³)
 Fluid analysis method: Use corrected VCG, Gambar 7.



Sumber : Hasil Analisis, 2014

Gambar 7 :

Kurva stabilitas pada kondisi *ballast in departure* dan *free to trim*

Pada kondisi kapal bermuatan ballast berangkat, area dibawah kurva *righting lever* (*GZ curve*) pada sudut oleng 0° - 30° , direkomendasikan tidak boleh kurang dari 3,151 m.deg, nilai yang didapatkan pada simulasi numerik adalah 114,053 m.deg. Pada sudut oleng 0° - 40° , area di bawah kurva GZ direkomendasikan tidak boleh kurang dari 5,157 m.deg, nilai yang didapat dari simulasi numerik yaitu sebesar 172,715 m.deg. Sedangkan pada sudut oleng antara 30° - 40° , area di bawah kurva GZ direkomendasikan tidak boleh kurang dari 1,719 m.deg, nilai yang didapat dari simulasi numerik yaitu sebesar 58,662 m.deg.

Maksimum GZ pada sudut oleng 30° direkomendasikan setidaknya sebesar 0,2 m, sedangkan nilai yang didapat dari hasil simulasi numerik sebesar 5,923 m. Besar sudut oleng yang terjadi pada maksimum GZ direkomendasikan tidak boleh kurang dari 25° . Nilai yang didapat dari simulasi numerik sebesar $31,7^{\circ}$. Tinggi *metacentric awal* (*initial GMt*) tidak boleh kurang dari 0,15 m. Nilai yang didapat dari simulasi numerik adalah 17,384 m.

Sudut oleng yang terjadi saat penumpang berpindah dari satu sisi ke sisi yang lain sebagaimana didefinisikan dalam IMO Res. A. 749(18) paragraf 3.5.2.6 sampai 3.5.2.9, tidak boleh lebih dari 10° . Pada simulasi numerik didapatkan nilai sudut oleng pada kondisi tersebut sebesar 0° . Sudut oleng pada saat kondisi kapal belok,

disyaratkan tidak boleh lebih dari 10° . Nilai yang didapatkan dari simulasi numerik untuk sudut oleng pada saat belok adalah sebesar 0° .

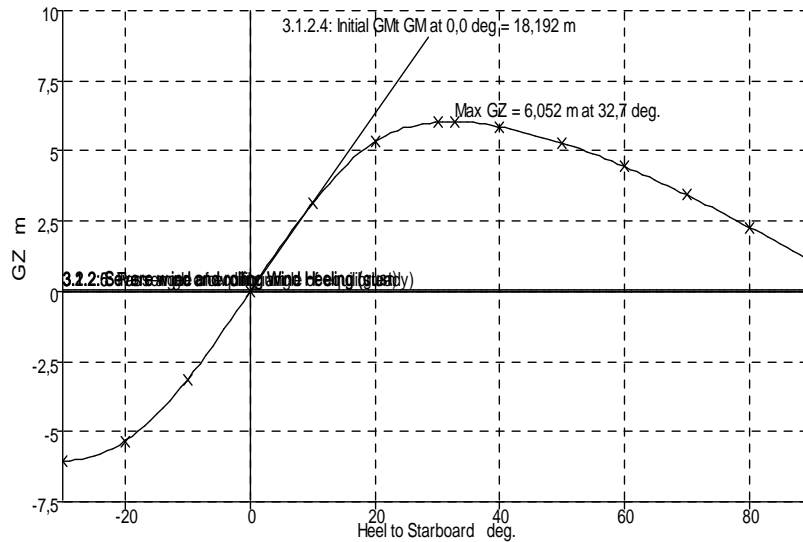
Kemampuan kapal untuk menahan efek gabungan dari tiupan angin dan rolling harus dibuktikan untuk setiap standar pembebanan. Pada kondisi kapal terkena efek angin dan rolling, IMO mensyaratkan sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil tidak boleh lebih dari 16° . Pada simulasi numerik didapatkan besar sudut oleng yang terbentuk adalah $0,1^{\circ}$. Sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil tidak boleh lebih dari 80% sudut tepi deck yang tercelup air, dengan kata lain perbandingan besar sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil dengan sudut tepi deck yang tercelup air tidak boleh lebih dari 80%.

Nilai yang didapatkan dari simulasi numerik adalah 0,352%. Perbandingan area 1 dengan area 2 seperti pada penjelasan IMO Res. A. 749(18) paragraf 3.2.2.1 tidak boleh kurang dari 100%. Nilai yang didapat dari simulasi numerik adalah 264,548%.

e. Loadcase - Ballast in the Arrival, Damage Case - Intact

Free to Trim Relative Density (*specific gravity*) = 1.025; (*Density* = 1.0252 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG, Gambar 8.



Sumber : Hasil Analisis, 2014

Gambar 8 :

Kurva stabilitas pada kondisi *ballast in arrival* dan *free to trim*

Pada kondisi kapal bermuatan ballast saat tiba, area dibawah kurva *righting lever* (*GZ curve*) pada sudut oleng 0° - 30° , direkomendasikan tidak boleh kurang dari 3,151 m.deg, nilai yang didapatkan pada simulasi numerik adalah 117,352 m.deg. Pada sudut oleng 0° - 40° , area di bawah kurva GZ direkomendasikan tidak boleh kurang dari 5,157 m.deg, nilai yang didapat dari simulasi numerik yaitu sebesar 177,312 m.deg. Sedangkan pada sudut oleng antara 30° - 40° , area di bawah kurva GZ direkomendasikan tidak boleh kurang dari 1,719 m.deg, nilai yang didapat dari simulasi numerik yaitu sebesar 59,96 m.deg.

Maksimum GZ pada sudut oleng 30° direkomendasikan setidaknya sebesar 0,2 m, sedangkan nilai yang didapat dari hasil simulasi numerik sebesar 6,052 m. Besar sudut oleng yang terjadi pada maksimum GZ direkomendasikan tidak boleh kurang dari 25° . Nilai yang didapat dari simulasi numerik sebesar $32,7^{\circ}$. Tinggi metacentric awal (initial GMt) tidak boleh kurang dari 0,15 m. Nilai yang didapat dari simulasi numerik adalah 18,192 m.

Sudut oleng yang terjadi saat penumpang berpindah antar sisi sebagaimana didefinisikan dalam IMO Res. A. 749(18) paragraf 3.5.2.6 sampai 3.5.2.9, tidak boleh lebih dari 10° . Pada simulasi numerik didapatkan nilai sudut oleng pada kondisi tersebut sebesar 0° . Sudut oleng pada saat kondisi kapal belok, disyaratkan tidak boleh lebih dari 10° . Nilai yang didapatkan dari simulasi numerik untuk sudut oleng pada saat belok adalah sebesar 0° .

Kemampuan kapal untuk menahan efek gabungan dari tiupan angin dan rolling harus dibuktikan untuk setiap standar pembebanan. Pada kondisi kapal terkena efek angin dan rolling, IMO mensyaratkan sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil tidak boleh lebih dari 16° . Pada simulasi numerik didapatkan besar sudut oleng yang terbentuk adalah $0,1^{\circ}$. Sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil tidak boleh lebih dari 80% sudut tepi deck yang tercelup air, dengan kata lain perbandingan besar sudut oleng yang terbentuk pada saat tiupan angin stabil dengan sudut tepi deck yang tercelup air tidak boleh lebih dari 80%. Nilai yang didapatkan dari simulasi numerik adalah 0,313%. Perbandingan area 1 dengan area 2 seperti pada penjelasan IMO Res. A. 749(18) paragraf 3.2.2.1 tidak boleh kurang dari 100%. Nilai yang didapat dari simulasi numerik adalah 263,14%.

SIMPULAN

Dari hasil analisis stabilitas SPB 6000 DWT untuk angkutan batubara diatas, dapat diberikan beberapa kesimpulan terhadap kinerja kapal sebagai acuan dalam pengoperasian kapal yaitu dari nilai yang didapatkan dari simulasi numerik maka, Untuk kondisi kapal kosong dapat disimpulkan bahwa stabilitas kapal pada kondisi light ship telah memenuhi desain kriteria yang telah ditetapkan IMO. Dimana maksimum GZ pada sudut oleng 30° hasil simulasi numerik yaitu sebesar 73,318

m.deg, sedangkan sudut oleng sebesar $31,4^0$

Untuk kondisi muatan penuh berangkat dapat disimpulkan bahwa stabilitas kapal pada kondisi ini telah memenuhi desain kriteria yang telah ditetapkan IMO, kecuali pada kriteria besar sudut oleng yang terjadi pada maksimum GZ, yang mana nilainya lebih kecil dari nilai yang dipersyaratkan. kriteria yang telah ditetapkan IMO. Dimana maksimum GZ pada sudut oleng 30^0 hasil simulasi numerik yaitu sebesar $3,045$ m.deg, sedangkan sudut oleng sebesar $23,9^0$

Untuk kondisi muatan penuh tiba dapat disimpulkan bahwa stabilitas kapal pada kondisi ini telah memenuhi desain kriteria yang telah ditetapkan IMO, kecuali pada kriteria besar sudut oleng yang terjadi pada maksimum GZ, yang mana nilainya lebih kecil dari nilai yang dipersyaratkan. kriteria yang telah ditetapkan IMO. Dimana maksimum GZ pada sudut oleng 30^0 hasil simulasi numerik yaitu sebesar $5,923$ m.deg, sedangkan sudut oleng sebesar $31,7^0$

Dan untuk kondisi kapal bermuatan ballast berangkat dapat diambil kesimpulan bahwa stabilitas kapal pada kondisi tersebut telah memenuhi desain kriteria yang telah ditetapkan IMO.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan “ Teknologi Transportasi Logistik Batubara untuk Mendukung Ketahanan Energi” dalam program DIPA tahun anggaran 2014 Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada rekan-rekan satu TIM di DIPA atas kerjasama dan bantuannya yang baik sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

1., PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL 2010 –2019).
2., PT Perusahaan Listrik Negara Batubara Tahun 2013. (Rencana Pasokan Batubara bagi Pusat Listrik Tenaga Uap).
3. Undang Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2008 Tentang Pelayaran
4. Mulya, Harryadi (2007), *Analisa Teknis dan Ekonomis Pembangunan Self Propelled Barge Batubara dari Sumatera Selatan untuk Menunjang Operasional PLTU Suralaya*, ([http:// digilib.its.ac.id/ analisa-teknis-dan-ekonomis-pembangunan-self-propelled-barge-batubara-dari-sumatera-selatan-untuk-menunjang-operasional-pltu-suralaya-3234.html](http://digilib.its.ac.id/analisa-teknis-dan-ekonomis-pembangunan-self-propelled-barge-batubara-dari-sumatera-selatan-untuk-menunjang-operasional-pltu-suralaya-3234.html))
5. Cahyono, Kokok Yudha (2006), *Analisa Teknis dan Ekonomis pada Perencanaan Tongkang Batubara Bermesin dan Tanpa Mesin*, ([http://digilib.its.ac.id/ analisa-teknis-dan-ekonomis-pada-perencanaan-tongkang-batubara-bermesin-dan-tanpa-mesin-5701.html](http://digilib.its.ac.id/analisa-teknis-dan-ekonomis-pada-perencanaan-tongkang-batubara-bermesin-dan-tanpa-mesin-5701.html))
6. Barrass Bryan and Derrett D.R. 2006. *Ship Stability for Masters and Mates*. 6. http://www.elsevierdirect.com/Hasil_Kali.jsp?isbn (diakses 2 Mei 2010).
7. Jovanovski Z, and Robinson G. 2009. *Ship Stability and Parametric Rolling. Australian Journal of Engineering Education*. 15 [2], http://www.engineers-media.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE_15_2_Jovanoski.pdf (diakses 10 Mei 2010).
8. Surendran S., Reddy Ramana J.V. 2003. *Numerical Simulation of Ship Stability for Dynamic Environmen*. Ocean Engineering, [http://202.114.89.60 /resource/ pdf/748.pdf](http://202.114.89.60/resource/pdf/748.pdf) (diakses 1 Mei 2010).
9. Malisan Johnny, *Keselamatan transportasi laut pelayaran rakyat: studi kasus armada phinisi*, Disertasi Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin Makassar 2013
10. Bahreisy Naufal. 2004. *Pemanfaatan Kurva GZ untuk pengkajian kemampuan stabilitas kapal* (kasus kapal KMP Citra Mandala Bakti). Warta Penelitian Perhubungan. STT No 1668, ISSN No 0852-1824. 4/thn XVI/2004
11. International Maritime Organization. A20/Res.862 *Carriage of Cargoes*. MSC 66/24/Add.1 Annex 2 Code of Practice for the Safe Loading and Unloading of Bulk Carriers. IMO;
12. Karana Sjafril, *Kajian Penentuan Jenis dan Ukuran Sarana Angkutan Batubara dari Pelabuhan Sorong ke PLTU KTI*, Majalah Ilmiah Pengkajian Industri Volume 9 Nomor 2, Agustus 2015.