

KAJIAN PENENTUAN TITIK BERAT VERTIKAL PADA STUDI KELAYAKAN DESAIN KAPAL BARGE PENAMBANG TIMAH TERHADAP STABILITAS KAPAL

Ahmad Syafiul Mujahid¹

Balai Teknologi Hidrodinamika - BPPT, Surabaya,
Jl. Hidrodinamika, Sukolilo, Keputih, Surabaya, Kota SBY, Jawa Timur Indonesia

Email: ahmadsmujahid@gmail.com¹

Abstrak

Salah satu ladang bijih timah terbesar di dunia terdapat di Kepulauan Bangka Belitung-Indonesia. PT Timah (Persero) Tbk dipercaya mengelola penambangan bijih timah di Indonesia termasuk yang berada di laut sehingga untuk memaksimalkan produksi maka perlu dilakukan pembangunan kapal milik sendiri dengan teknologi yang lebih canggih yang mampu menambang hingga kedalaman 60 m. Kapal Barge Penambang Timah (BPT) adalah kapal khusus yang digunakan untuk menambang timah yang terdapat di dasar laut dan di bawah dasar laut. Kapal Barge Penambang Timah memiliki displacement (Δ) = 3025 ton, panjang (LoA) = 68 m, Lebar (B) = 17 m, Tinggi (H) = 5 m, Sarat (T) = 3 m, dan mengacu pada conceptual design Kapal Bore Hole Mining (BHM) yang telah dikaji pada penelitian sebelumnya, kemudian dilakukan beberapa perbaikan dan optimalisasi desain untuk mendapatkan kajian stabilitas yang memenuhi aturan regulasi yang telah ditetapkan oleh IMO. Konfigurasi simulasi stabilitas Kapal Barge Penambang Timah menggunakan loadcase variasi ketinggian titik berat vertikal (VCG) yang diukur dari dasar kapal (baseline) yakni: 3 m, 3.25 m, 3.5 m, 3.75 m, 3.8 m, 3.9 m, dan 4 m. Dalam simulasi dianggap bahwa kapal dalam keadaan evenkeel dan full load. Konfigurasi pada variasi VCG dilakukan karena adanya beban tiang bor dan tiang hisap beserta konstruksi penyangganya dengan ketinggian mencapai 60 meter yang dapat mempengaruhi ketinggian VCG Kapal secara keseluruhan yang berdampak pada stabilitas kapal. Dari hasil kajian dapat disimpulkan bahwa VCG maksimum Kapal Barge Penambang Timah adalah 3.75 m dengan margin faktor keamanan 1.82% untuk clausul IMO A.749(18) Ch.3. 3.123, dan rekomendasi yang diberikan untuk nilai VCG maksimum adalah 3.5 m dengan margin faktor keamanan 3.64% untuk clausul IMO A.749(18) Ch.3. 3.123. Saran untuk penelitian lebih lanjut adalah perlunya kajian AMDAL terhadap pembangunan Kapal Barge Penambang Timah.

Kata Kunci: Kapal Barge Penambang Timah, Stabilitas, Simulasi Numerik.

Abstract

One of the largest tin ore fields in the world is in the Indonesian Bangka Belitung Islands. PT Timah (Persero) Tbk is trusted to manage tin ore mining in Indonesia including those in the sea so as to maximize production it is necessary to build a self-owned vessel with more sophisticated technology capable of mining to a depth of 60 m. Tin Mining Barge Vessel (BPT) is a special vessel used to mine tin found on the seabed and under the seabed. Tin Mining Barge Vessel have a displacement (Δ) = 3025 tons, length (LoA) = 68 m, width (B) = 17 m, height (H) = 5 m, draft (T) = 3 m, and refer to conceptual design of The Bore Hole Mining (BHM) vessel which has been reviewed in previous studies, then carried out several improvements and optimization of the design to obtain a stability study that meets the regulatory rules set by IMO. The configuration of the Tin Mining Barge Vessel stability simulation uses load case variations in the vertical center of gravity (VCG) measured from the bottom of the ship (baseline), namely: 3 m, 3.25 m, 3.5 m, 3.75 m, 3.8 m, 3.9 m, and 4 m. In the simulation, it is considered that the ship is in an even-keel and full load. The configuration on VCG variation was carried out due to a load of drill poles and suction poles along with their construction with a height of up to 60 meters which can affect the VCG height of the ship as a whole which has an impact on ship stability. From the results of the study, it can be concluded that the maximum VCG of Tin Mining Barge Vessel is 3.75 m with a safety factor margin of 1.82% for the IMO A.749 clause (18) Ch.3. 3.123, and the recommendation is given for the maximum VCG value is 3.5 m with a 3.64% safety factor margin for the IMO A.749 clause (18) Ch.3. 3.123. Suggestions for further research is to need for an AMDAL study on the construction of Tin Mining Barge Vessel.

Keywords: Tin Mining Barge Vessel, Stability, Numerical Simulation.

1. PENDAHULUAN

Salah satu ladang sumber daya alam berupa bijih timah yang terbesar di dunia terdapat di Negara Indonesia letaknya wilayah di Kepulauan Bangka Belitung. PT Timah (Persero) Tbk sebagai sebuah Perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN)

dipercaya untuk mengelola penambangan bijih timah di Indonesia baik tambang yang berada di darat maupun di laut. Untuk memaksimalkan produksi dari hasil penambangan laut maka strategi efektif perlu dilakukan termasuk dengan membuat dan menambah jumlah armada kapal milik sendiri. Dengan penambahan ini diharapkan produksi

penambangan dari laut menjadi lebih meningkat.

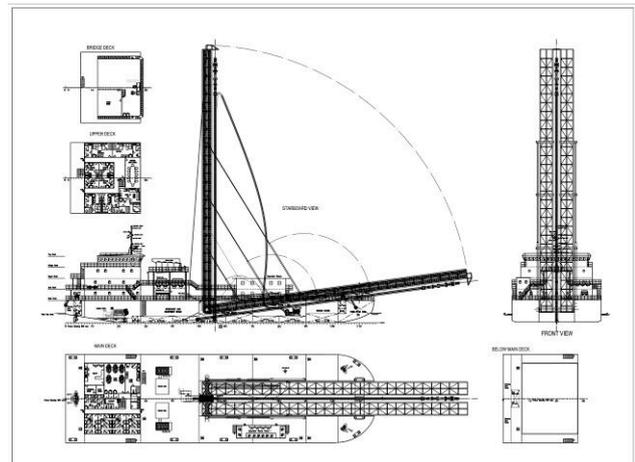
Saat ini kendala terbesar yang dihadapi PT Timah adalah adanya berbagai faktor yang menjadi penghambat alat produksi (termasuk armada kapal dan teknologinya) untuk dapat bekerja secara optimal, termasuk keterbatasan kemampuan armada laut PT Timah yang hanya mampu beroperasi pada kedalaman rendah. Armada kapal yang dianggap paling baik dalam menambang timah dilaut adalah Kapal PIP Pusaka dengan teknologi Bore Hole Mining yang merupakan kapal yang disewa dari perusahaan swasta, Kapal Pusaka seperti pada Gambar 1 di bawah merupakan kapal acuan yang menjadi contoh bagi PT. Timah dalam mengembangkan pembuatan armada kapal baru yang jauh lebih baik.



Gambar 1. Kapal PIP Bore Hole Mining Pusaka

Kapal Barge Penambang Timah (BPT) adalah kapal khusus yang digunakan untuk menambang timah yang terdapat di dasar laut dan di bawah dasar laut. Tantangan yang sedang dihadapi saat ini adalah mendesain, merancang, dan membangun kapal penambang timah buatan dalam negeri untuk PT. Timah, karena selama ini perusahaan penambang timah hanya menggunakan kapal sewa seperti kapal PIP Bore Hole Mining (BHM) Pusaka, tantangan selanjutnya adalah memperbaiki dan mengubah desain kapal timah yang sebelumnya telah dikaji hingga conceptual design namun hasil kajiannya dinyatakan belum layak untuk diteruskan ke tahap pembangunan. Selain itu armada kapal yang

selama ini dimiliki (dari sewa kapal) hanya 1 buah kapal untuk dapat menambang hingga kedalaman 60 m, sedangkan lainnya hanya mampu beroperasi pada kedalaman maksimal 45 m, maka perlu dilakukan rancangan dan pembangunan Kapal Barge Penambang Timah yang baru dan dapat beroperasi pada daerah yang lebih dalam, efisien, dan tepat guna (Tim Rekayasa dan Teknologi, 2017). Acuan dalam perubahan desain Kapal Barge Penambang Timah ini mengacu pada conceptual design Kapal Bore Hole Mining (BHM) seperti yang ditampilkan pada Gambar 2 yang telah dikaji pada penelitian sebelumnya, kemudian dilakukan beberapa perbaikan dan optimalisasi desain untuk mendapatkan kajian stabilitas yang memenuhi aturan regulasi yang telah ditetapkan oleh IMO.



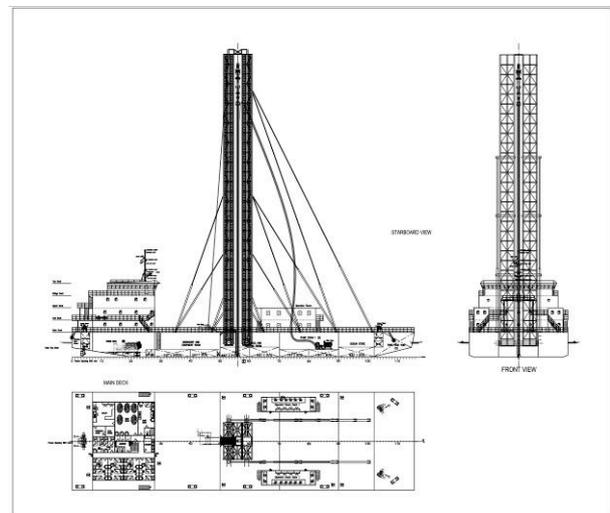
Gambar 2. Conceptual design Kapal BHM

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dalam mengkaji stabilitas kapal antara lain: telah melakukan kajian *feasibility study* pada desain kapal Bore Hole Mining (BHM) yang berfungsi sebagai kapal penambang bahan bumi di laut[6]. Kajian yang telah dilakukan berupa analisis terhadap stabilitas kapal BHM dan tegangan geser yang dialami kapal BHM pada kondisi Loadcase Departure, Loadcase Full Load, Loadcase Half Load dan Loadcase Arrival, dengan hasil analisis menunjukkan bahwa kapal BHM tidak memenuhi kriteria stabilitas yang telah ditetapkan oleh standar IMO pada berbagai kondisi loadcase dimana ponit yang tidak memenuhi adalah Angle of

Minimum GZ kurang dari yang disyaratkan IMO pada sudut 25 deg sehingga perlu dilakukan perbaikan desain agar kapal dapat memenuhi kriteria stabilitas yang telah ditetapkan oleh IMO. Stabilitas Kapal *Crane Barge* akibat perubahan pada titik pusat gravitasi (*center of gravity*) pada saat pengangkatan muatan oleh *crane*, analisa yang dilakukan dibantu dengan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf* dan kemudian hasilnya ditinjau berdasarkan ketentuan regulasi IMO[3]. Kajian untuk menentukan aspek keselamatan kapal *pole and line*, serta mengkaji dan menganalisis kapal untuk mendapatkan kualitas stabilitas kapal pada empat kondisi distribusi muatan, kemudian mengidentifikasi dan mengkaji berdasarkan regulasi IMO terkait keselamatan kapal *pole and line* yang beroperasi di Bitung[9]. Stabilitas perahu nelayan payang berdasarkan pengaturan beban dalam dua tahap yakni melakukan survei sesuai kondisi sebenarnya dan melakukan simulasi pengaturan beban untuk mendapatkan parameter stabilitas yang lebih baik[8]. Dimana hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaturan beban sesuai kondisi sebenarnya yang diterapkan nelayan tradisional menghasilkan stabilitas yang buruk, sefangkan stabilitas yang lebih baik dapat dihasilkan dengan menempatkan lebih banyak kargo di bawah geladak dan menghindari kelebihan muatan di atas geladak. Analisa secara numerik terhadap performa kapal kayu di Bagansiapi-api dengan dimensi utama kapal adalah LOA = 32 m; B = 10 m, H = 6 m, T = 3, 2 m dan 50 GT[4]. Hasil kajian menunjukkan bahwa kapal memiliki performa yang baik dalam stabilitas karena memenuhi semua kriteria IMO untuk jenis kapal perikanan.

Pada kajian conceptual desain Kapal BHM seperti pada Gambar 2 di atas menunjukkan bahwa desain kapal tersebut belum layak dan belum memenuhi seluruh kaidah keselamatan kapal sesuai regulasi IMO[7]. Sedangkan pada paper ini studi kelayakan (*feasibility study*) difokuskan pada kajian stabilitas untuk mengoptimalkan conceptual design kapal

BHM menjadi kapal Barge Penambang Timah (BPT) hingga mendapatkan desain yang memenuhi seluruh aspek keselamatan kapal saat kapal sedang beroperasi, yakni dengan melakukan kajian pada berbagai variasi titik berat vertikal kapal (VCG). Penentuan titik berat vertikal pada Kapal Barge Penambang Timah merupakan hal yang sangat *crucial* dikarenakan adanya peralatan tiang bor dan pemegangnya dengan ketinggian hingga 60 meter di atas geladak kapal sebagaimana terlihat pada Gambar 3 di bawah ini yang merupakan conceptual design Kapal Barge Penambang Timah.



Gambar 3. Kapal Barge Penambang Timah

Objek penelitian pada paper ini adalah Kapal Barge Penambang Timah (BPT) seperti pada Gambar 3 di atas yang merujuk pada desain Kapal Bore Hole Mining (BHM) pada Gambar 2 yang mengalami perubahan dan perbaikan desain. Data spesifikasi ukuran utama kapal ditampilkan pada Tabel 1 di bawah ini, dimana nilai VCG menjadi variabel dan parameter yang divariasikan pada ketinggian 3 meter hingga 4 meter dari *baseline* kapal. Hasil VCG maksimum terbaik berdasarkan regulasi stabilitas dari IMO akan digunakan sebagai acuan dalam proses desain kapal dan perencanaan peletakan dan distribusi beban Kapal Barge Penambang Timah pada tahap selanjutnya.

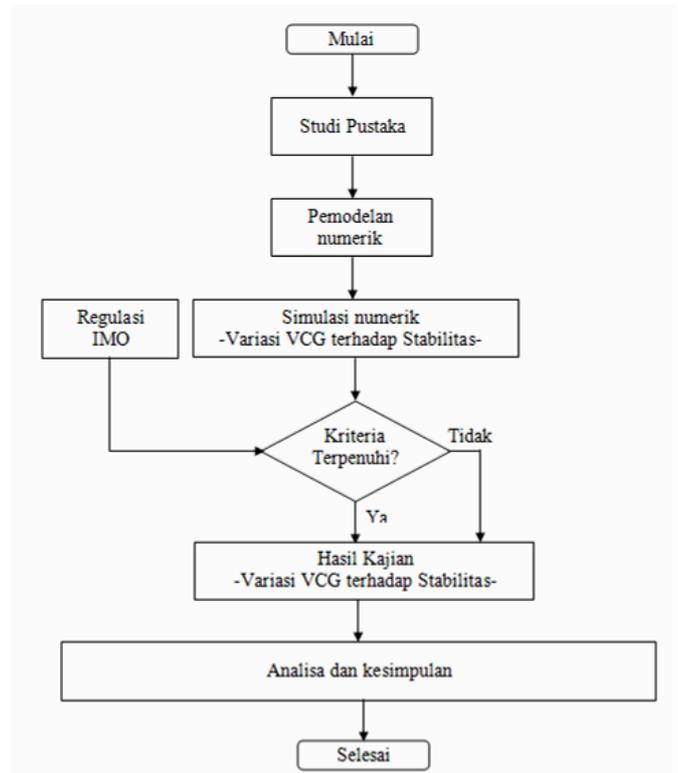
Tabel.1. Data Kapal Barge Penambang Timah

Parameter	Nilai	Satuan
Displacement (Δ)	3025	ton
Length (LoA)	68.00.00	m
Breadth (B)	17.00	m
Height (H)	05.00	m
Draft (D)	03.00	m
Water Density	1025	ton/m ³
VCG	variatif	m
LCG	34	m

2. METODE

Simulasi numerik merupakan tiruan pengujian yang dilakukan berdasarkan persamaan-persamaan matematis yang dihitung dengan menggunakan metode numerik dalam sebuah perangkat komputer. Simulasi numerik banyak digunakan terutama apabila tidak dapat dilakukan pengujian langsung di laboratorium terhadap objek penelitian, atau hendak meneliti suatu objek yang tidak mudah apabila dilakukan suatu pengujian [6].

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi numerik dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Maxsurf Stability untuk mendapatkan nilai stabilitas kapal berdasarkan variasi VCG, dimana pemodelan numerik akan dilakukan proses simulasi numerik untuk mendapatkan nilai stabilitas kapal, kemudian komponen nilai-nilai stabilitas kapal dari proses numerik tadi akan diperiksa dengan standar ketentuan dan nilai stabilitas kapal yang dikeluarkan oleh regulasi IMO untuk mengetahui apakah desain kapal pada variasi VCG tertentu itu memenuhi seluruh aspek stabilitas kapal ataukah tidak [2]. Diagram alir proses pengerjaan penelitian ini ditampilkan pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Dasar Teori Stabilitas

Stabilitas kapal merupakan suatu kemampuan pada kapal untuk dapat kembali ke posisi semula setelah mendapatkan pengaruh gaya dari luar seperti gaya akibat angin dan gelombang. Stabilitas kapal terdiri dari dua katagori yakni stabilitas statis dan stabilitas dinamis. Perhitungan stabilitas statis diperuntukkan untuk kapal pada saat kondisi kapal sedang diam, sedangkan perhitungan stabilitas dinamis diperuntukkan saat kapal mengalami oleng besar yang disebabkan salah satunya karena cuaca buruk atau kondisi badai.

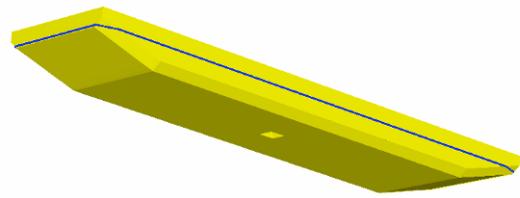
Analisa stabilitas kapal sangat berkaitan erat dengan aspek keselamatan pada kapal. International Maritime Organization (IMO) sebagai organisasi maritim internasional mengeluarkan regulasi berupa aturan stabilitas yang harus dipenuhi oleh suatu kapal. Beberapa aturan yang harus dipenuhi oleh kapal sebagai persyaratan stabilitas kapal menurut ketentuan dan ketetapan IMO (International Maritime Organization) Code A.749 (18) Ch 3 – *design criteria applicable*

to all ships yang mensyaratkan beberapa hal sebagai berikut[5]:

1. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.1:
 - a. Pada sudut roll 0° hingga 30° , luas daerah di bawah kurva $GZ > 3.151 \text{ m.deg}$
 - b. Pada sudut roll 0° hingga 40° , luas daerah di bawah kurva $GZ > 5.157 \text{ m.deg}$
 - c. Pada sudut roll 30° hingga 40° , luas daerah di bawah kurva $GZ > 1.719 \text{ m.deg}$
2. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.2: Pada sudut roll 30° hingga 180° , maka nilai GZ maksimum $> 0.2 \text{ m}$
(Lengan penegak GZ paling sedikit 0.2 meter pada sudut oleng 30° atau lebih)
3. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.3: Sudut GZ maksimum $> 25^\circ$
(Lengan penegak maksimum sebaiknya pada sudut oleng lebih dari 30° dan tidak boleh kurang dari 25°)
4. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.4: Pada sudut roll 0° , nilai $GM > 0.15 \text{ m}$.
(Tinggi Metacenter awal GM_0 tidak boleh kurang dari 0.15 meter). [7] [5]

Konfigurasi Pemodelan

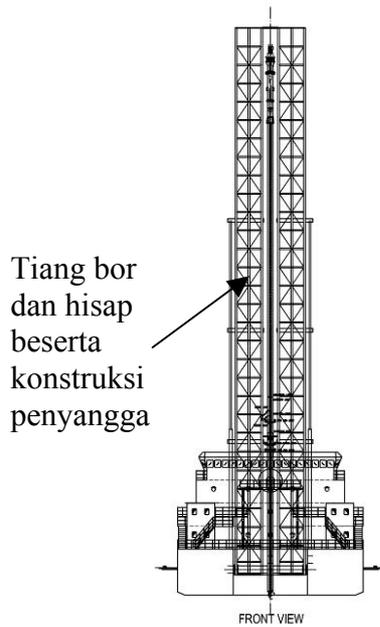
Geometri Kapal Barge Penambang Timah dibuat dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *Maxsurf Modeler* [1] dalam bentuk geometri 3 dimensi berdasarkan pada acuan Gambar 3 di atas dimana gambar 3 dimensi geometri kapal hanya dimodelkan pada bagian lambungnya saja tanpa rudder dan propeller, tanpa gambar bangunan atas dan tanpa peralatan tambahan lainnya yang berada di atas geladak, hal ini dilakukan untuk memfokuskan kajian pada aspek kajian stabilitas hidrodinamika kapal sehingga hanya dibutuhkan pemodelan geometri lambung Kapal BPT dalam simulasi numerik. Gambar pemodelan Kapal BPT dalam bentuk geometri tiga dimensi ditampilkan pada Gambar 5 di bawah ini:



Gambar 5. 3D Kapal Barge Penambang Timah

Konfigurasi Simulasi Stabilitas

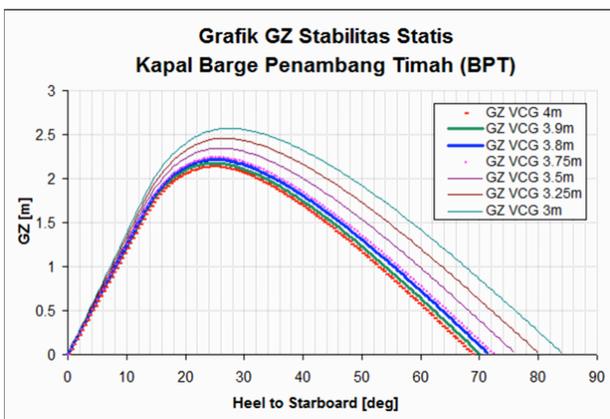
Konfigurasi simulasi stabilitas Kapal Barge Penambang Timah (BPT) menggunakan *loadcase* variasi ketinggian titik berat vertikal (VCG) yang diukur dari dasar kapal (*baseline*) antara lain: 3 m, 3.25 m, 3.5 m, 3.75 m, 3.8 m, 3.9 m, dan 4 m. Dalam simulasi dianggap bahwa kapal dalam keadaan *evenkeel* dan *full load*. Konfigurasi pada variasi VCG dilakukan karena adanya beban-beban tiang bor dan tiang hisap beserta konstruksinya dengan ketinggian mencapai 60 meter yang dapat mempengaruhi ketinggian titik berat vertikal Kapal BPT secara keseluruhan. Tiang bor dan tiang hisap beserta konstruksinya seperti pada Gambar 6 di bawah ini merupakan suatu bagian dari Kapal BPT yang harus diperhatikan secara serius dikarenakan apabila ketinggian titik berat vertikal pada bagian tersebut mempengaruhi ketinggian titik berat vertikal kapal secara signifikan maka tentunya kapal BPT akan mengalami permasalahan dan kendala dalam hal stabilitas. Dengan menganalisis stabilitas Kapal berdasarkan variasi VCG maka akan diperoleh VCG maksimum Kapal BPT yang diijinkan oleh regulasi sehingga perancangan tata letak dan posisi pada bagian-bagian lainnya dari Kapal BPT akan dapat disesuaikan dengan baik.



Gambar 6. Konstruksi tiang bor dan tiang hisap pada Kapal Barge Penambang Timah (BPT)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

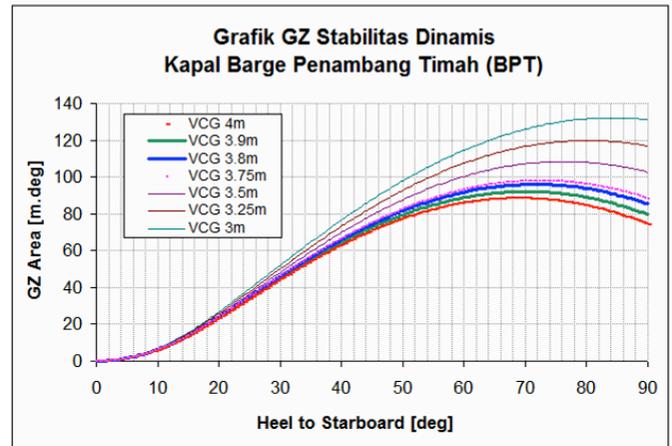
Setelah dilakukan kajian simulasi numerik dengan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Stability maka diperoleh grafik stabilitas statis Kapal BPT pada Gambar 7 yang menunjukkan bahwa semakin besar nilai VCG maka nilai GZ terhadap sudut heeling menjadi semakin kecil.



Gambar 7. Grafik lengan stabilitas statis Kapal BPT pada loadcase perubahan VCG

Pada Gambar 7 di atas menunjukkan bahwa nilai Max GZ terendah adalah 2.133 m pada sudut heeling 24.5 deg yang terdapat pada variasi VCG 4 meter,

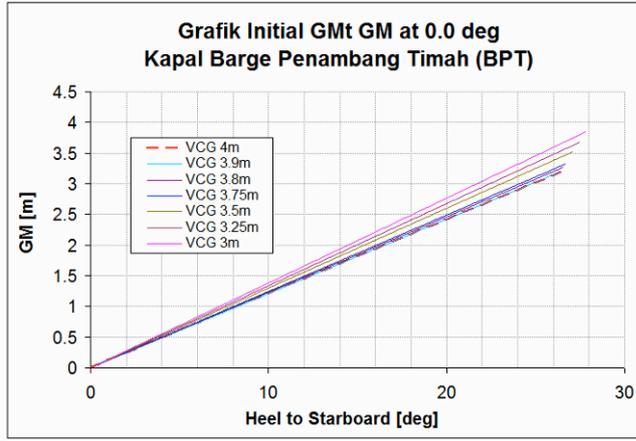
sedangkan nilai Max GZ tertinggi adalah 2.571 m pada sudut heeling 27.3 deg yang terdapat pada variasi VCG 3 meter.



Gambar 8. Grafik lengan stabilitas dinamis Kapal BPT pada loadcase perubahan VCG

Sedangkan pada Gambar 8 di atas menunjukkan grafik stabilitas dinamis pada Kapal BPT yang menunjukkan bahwa semakin besar nilai VCG maka luasan pada nilai GZ area terhadap sudut heeling menjadi semakin kecil. Nilai Max GZ Area terendah adalah 88.36 m.deg pada sudut heeling 68.64 deg yang terdapat pada variasi VCG 4 meter, sedangkan nilai Max GZ Area tertinggi adalah 132.17 m.deg pada sudut heeling 84 deg sampai dengan 84.55 deg yang terdapat pada variasi VCG 3 meter.

Pada Gambar 9 menampilkan Grafik Initial GMt Kapal BPT dengan berbagai variasi VCG. Pada Gambar 9 menunjukkan bahwa nilai initial GMt yang terendah adalah 6.936 m yang terdapat pada variasi VCG 4 meter, sedangkan nilai initial GMt yang tertinggi adalah 7.936 m yang terdapat pada variasi VCG 3 meter. Untuk nilai terendah dari GM maksimum adalah 3.199 m pada heeling 26.42 deg terdapat pada variasi VCG 4 meter, sedangkan nilai tertinggi dari GM maksimum adalah 3.86 m pada heeling 27.84 deg terdapat pada variasi VCG 3 meter.



Gambar 9, Grafik Initial GMt Kapal BPT terhadap variasi VCG kapal

Hasil kajian dari ketiga grafik di atas kemudian diperiksa dengan menggunakan acuan aturan IMO tentang kriteria stabilitas kapal yang meliputi 6 kriteria stabilitas yakni: Area 0 to 30, Area 0 to 40, Area 30 to 40, Max GZ at 30 or greater, Angle of Maximum GZ, dan Initial GMt. Ke-enam kriteria stabilitas tersebut ditampilkan pada Tabel 2 yang menampilkan perbandingan kriteria stabilitas Kapal BPT pada variasi VCG 3.9 meter dan 4 meter, Tabel 3 menampilkan perbandingan kriteria stabilitas Kapal BPT pada variasi VCG 3.75 meter dan 3.8 meter, dan pada Tabel 4 menampilkan perbandingan kriteria stabilitas Kapal BPT pada variasi VCG 3 meter, 3.25 meter, dan 3.5 meter.

Tabel 2. Stabilitas kapal yang diijinkan IMO pada variasi VCG 3.9 m – 4 m

Code	Criteria			VCG 4 m			VCG 3.9 m		
	Items	Value	Units	Actual	Status	Margin (%)	Actual	Status	Margin (%)
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.151	m.deg	44.314	Pass	1306.33	45.0811	Pass	1330.69
	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.157	m.deg	63.16	Pass	1124.75	64.5008	Pass	1150.74
	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.719	m.deg	18.847	Pass	996.38	19.4197	Pass	1029.71
	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.2	m	2.056	Pass	928	2.106	Pass	953
	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	24.5	Fail	-1.82	25	Pass	0
	3.1.2.4: Initial GMt	0.15	m	6.936	Pass	4524	7.036	Pass	4590.67

Tabel 3. Stabilitas kapal yang diijinkan IMO pada variasi VCG 3.75 m – 3.8 m

Code	Criteria			VCG 3.8 m			VCG 3.75 m		
	Items	Value	Units	Actual	Status	Margin (%)	Actual	Status	Margin (%)
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.151	m.deg	45.849	Pass	1355.05	46.2325	Pass	1367.23
	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.157	m.deg	65.841	Pass	1176.74	66.5115	Pass	1189.73
	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.719	m.deg	19.993	Pass	1063.03	20.279	Pass	1079.69
	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.2	m	2.156	Pass	978	2.181	Pass	990.5
	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	25	Pass	0	25.5	Pass	1.82
	3.1.2.4: Initial GMt	0.15	m	7.136	Pass	4657.33	7.186	Pass	4690.67

Tabel 4. Stabilitas kapal yang diijinkan IMO pada variasi VCG 3 m – 3.5 m

Code	Criteria			VCG 3.5 m			VCG 3.25 m			VCG 3 m		
	Items	Value	Units	Actual	Status	Margin (%)	Actual	Status	Margin (%)	Actual	Status	Margin (%)
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.151	m.deg	48.152	Pass	1428.14	50.0706	Pass	1489.04	51.9896	Pass	1549.94
	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.157	m.deg	69.863	Pass	1254.71	73.2138	Pass	1319.7	76.5649	Pass	1384.68
	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.719	m.deg	21.711	Pass	1163.01	23.1432	Pass	1246.32	24.5753	Pass	1329.63
	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.2	m	2.306	Pass	1053	2.431	Pass	1115.5	2.556	Pass	1178
	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	25.9	Pass	3.64	26.8	Pass	7.27	27.3	Pass	9.09
	3.1.2.4: Initial GMt	0.15	m	7.436	Pass	4857.33	7.686	Pass	5024	7.936	Pass	5190.67

Dari ke-tiga tabel di atas dapat diketahui bahwa pada variasi VCG 4 meter menunjukkan kriteria stabilitas 3.1.2.3 tidak terpenuhi, sehingga Kapal BPT pada variasi VCG 4 meter tidak memenuhi kriteria stabilitas. Sedangkan pada variasi VCG 3.8 meter dan 3.9 meter menunjukkan bahwa seluruh kriteria stabilitas terpenuhi namun yang menjadi perhatian khusus adalah pada kriteria / clausul 4 (clausul IMO A.749(18) Ch.3. 3.123) dimana nilai aktual dan nilai minimum criteria adalah 25 deg dengan margin 0% yang artinya adalah tidak ada kelebihan pada nilai margin yang dapat menjadi nilai *safety factor*, sehingga variasi VCG 3.8 meter dan 3.9 meter sebaiknya tidak digunakan dalam merancang Kapal BPT. Pada variasi VCG 3 meter, 3.25 meter, 3.5 meter, dan 3.75 meter merupakan 4 variasi VCG pada Kapal BPT yang memenuhi seluruh kriteria stabilitas kapal menurut regulasi IMO. Nilai VCG tertinggi yang dapat digunakan untuk merancang Kapal BPT adalah VCG 3.75 meter, namun untuk alasan keamanan maka sebaiknya Kapal BPT dirancang dengan menggunakan VCG 3.5 meter yang memiliki nilai margin (pada clausul IMO A.749(18)

Ch.3. 3.123) yang cukup besar yakni 3.64% dibandingkan dengan VCG 3.75 meter yang memiliki margin harnya 1.83%

4. KESIMPULAN

Dari hasil kajian yang dilakukan pada variasi titik berat vertikal (VCG) terhadap ketentuan stabilitas kapal menurut kriteria dari IMO maka dapat disimpulkan bahwa VCG maksimum Kapal Barge Penambang Timah dalam rancangan desain ini adalah 3.75 m dengan margin faktor keamanan 1.82% untuk clausul IMO A.749(18) Ch.3. 3.123. Namun rekomendasi yang diberikan untuk nilai VCG maksimum atau titik berat vertikal kapal saat displacement full load 3025 ton dengan margin faktor keamanan 3.64% untuk clausul IMO A.749(18) Ch.3. 3.123 adalah **maksimal pada VCG 3.5 m**

5. SARAN

Selain kajian kelayakan terhadap aspek teknologi, maka sebaiknya perlu dilakukan kajian yang lebih mendalam terhadap aspek lingkungan (AMDAL) terhadap rencana pembangunan kapal timah sehingga nantinya akan diperoleh kapal timah yang memenuhi kelayakan dari aspek teknologi dan juga aspek AMDAL.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh rekan-rekan BTH – BPPT yang telah bersama – sama mendukung kegiatan DIPA Maritim Kapal Timah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bentley Systems, Incorporated. “Maxsurf Modeler User Manual Book”. 2017
- [2] Bentley Systems, Incorporated. “Maxsurf Stability User Manual Book”. 2017.
- [3] Gorat, Maria La Pasaribu. “Analisis Stabilitas Crane Barge saat Operasi Heavy Lifting”, ITS Surabaya. 2017

- [4] Hutaauruk, Ronald M. et al. "Performa Kapal Tradisional Bagansiapi-api". Jurnal Perikanan dan Kelautan Volume 22 No. 1, Juni 2017: 61-68. 2017
- [5] IMO International Maritime Organization. Code A.749(18) Ch 3 – Code on intact stability for all of ships, design criteria applicable to all ships
- [6] Mujahid, Ahmad Syafiul. “Kajian Penambahan Bilge Keel Terhadap Gerak Olong Kapal Kontainer Tipe Small Feeder”. Jurnal Inovtek Polbeng, Vol. 8, No. 2. 2018
- [7] Mujahid, Ahmad Syafiul. dan Kusnindar P. “Studi Kelayakan Desain Kapal Hisap Tambang (Bore Hole Mining), Kajian Stabilitas dan Tegangan Geser”. Jurnal Wave Vol. 12, No. 2. 2018.
- [8] Novita, Yopi. et. Al. "Kualitas Stabilitas Kapal Payang Palabuhan ratu Berdasarkan Distribusi Muatan". Jurnal IPTEKS PSP, Vol. 1 (1) April 2014: 28 – 39. 2014.
- [9] Purwanto, Yuli. et al. (2014). Aspek Keselamatan Ditinjau dari Stabilitas Kapal dan Regulasi pada Kapal Pole and Line di Bitung, Sulawesi Utara. Marine Fisheries - Vol. 5, No. 2, Hal. 181-191.
- [10] Tim Rekayasa dan Teknologi. “Referensi Pembangunan Pilot Project Ponton Isap Produksi BHM”. 2017.