

KAJIAN *DAMAGE STABILITY* PADA STUDI KELAYAKAN DESAIN KAPAL BARGE PENAMBANG TIMAH DENGAN PENDEKATAN METODE NUMERIK

Ahmad Syafiul Mujahid¹

¹Balai Teknologi Hidrodinamika - BPPT,
Jl. Hidro Dinamika, Keputih, Kec. Sukulilo, Kota Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

*Email: ahmadsmujahid@gmail.com*¹

Abstrak

Hampir 90% kecelakaan kapal atau tenggelamnya kapal disebabkan oleh kebocoran. Kapal Barge Penambang timah menjadi suatu objek penelitian yang menarik karena terdapat berbagai tantangan yang sedang dihadapi dalam mendesain, merancang, dan membangun kapal penambang timah khususnya tentang kajian stabilitas pada saat apabila kapal mengalami kebocoran. 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. Konfigurasi simulasi stabilitas Kapal Barge Penambang Timah menggunakan variasi 1 *Intact* case dan 15 damage case dimana disimulasikan kompartemen di sekitar hole kapal mengalami kebocoran lalu dihitung nilai stabilitasnya dan dibandingkan hasilnya dengan regulasi IMO Code A.749 (18) Ch 3 dan IMO regulasi SOLAS requirement Chapter II Part B-1. Dari hasil kajian dapat disimpulkan bahwa Kapal menjadi tidak stabil apabila terjadi kebocoran pada kompartemen di salah satu sisi samping hole kapal seperti kompartemen Void 3 dan 4 di Portside (P) atau di Starboard (S). Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa Kapal Barge Penambang Timah akan mengalami ketidak-stabilan saat terjadi kebocoran. **Solusi** yang dilakukan dengan menambahkan pemasangan watertight memanjang dengan jarak 1200 mm pada kompartemen: Void 3 (P), Void 4 (P), Void 3 (P), dan Void 4 (S).

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

Abstract

Nearly 90% of ship accidents or ship sinking are caused by leakage. Tin Mining Barge Vessel is an interesting research object because there are various challenges that are being faced in designing, arranging, and constructing tin mining vessels, especially regarding stability studies when a ship has a leak. Tin Mining Barge Vessel has a displacement (Δ) = 3025 tons, length (LoA) = 68 m, Width (B) = 17 m, High (H) = 5 m, Sarat (T) = 3 m. The configuration of the stability simulation of The Tin Mining Barge Vessel uses a variation of 1 *Intact* case and 15 damage cases where simulated compartments around the ship's hole have leakage and then calculated its stability value and compared the results with IMO Code A.749 (18) Ch 3 and IMO regulations SOLAS requirements Chapter II Part B-1. From the results of the study, it can be concluded that the ship becomes unstable if there is a leak in the compartment on one side of the hole of the ship such as the Void 3 and 4 compartments at Portside (P) or on the Starboard (S). Overall, it can be concluded that the Tin Mining Barge Vessel will be instability when a leak occurs. The solution is conducted by adding the installation of a watertight length with a distance of 1200 mm in the compartment: Void 3 (P), Void 4 (P), Void 3 (P), and Void 4 (S).

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

1. PENDAHULUAN

Setiap kapal yang berlayar pasti memiliki resiko kebocoran pada bagian tertentu di suatu kapal. Kebocoran pada kapal merupakan suatu kondisi yang sangat dikhawatirkan karena hampir 90% kecelakaan kapal atau tenggelamnya suatu kapal disebabkan oleh kebocoran. Oleh karena itu perancang dan pen-desain suatu kapal harus merencanakan dan menganalisis kebocoran dan kemungkinan kebocoran yang terjadi di ruang-ruang / kompartemen kapal sehingga nantinya dapat diketahui kemampuan suatu kapal untuk masih

dkapat mengapung atau kapal masih dapat bertahan berapa lama akibat dari terjadinya kebocoran di beberapa titik hingga kapal benar-benar tenggelam.

Kapal Barge Penambang Timah (BPT) merupakan kapal khusus yang sedang dirancang untuk menjadi kapal generasi terbaru untuk digunakan dalam menambang bijih timah yang terdapat di dasar laut dan di bawah dasar laut. Kapal Barge Penambang Timah (BPT) menjadi suatu objek penelitian yang menarik karena terdapat berbagai tantangan yang sedang dihadapi dalam mendesain, merancang, dan membangun kapal

penambang timah buatan dalam negeri agar kapal menjadi handal saat dioperasikan [8], sehingga keamanan dan keselamatan kapal dan awak kapal dapat terjamin dengan baik. Hal ini menjadi perhatian khusus akibat adanya salah satu dari unit kapal penambang timah generasi terdahulu yang telah lama beroperasi mengalami insiden beberapa bulan yang lalu yakni tenggelamnya Kapal Isap Produksi (KIP) 10 milik PT Timah Tbk Wilayah Kerja Riau dan Kepri di Perairan Prayun, Kecamatan Kundur Barat, Kabupaten Karimun, Kepulauan Riau pada Sabtu 31 Agustus 2019 seperti ditampilkan pada Gambar 1 di bawah. Kejadian tenggelamnya kapal ini disebabkan oleh hilangnya keseimbangan / ketidakstabilan kapal saat menarik Kapal KIP 18, kejadian ini diperburuk dengan cuaca yang sedang tidak bersahabat dan arus laut yang cukup deras [5].



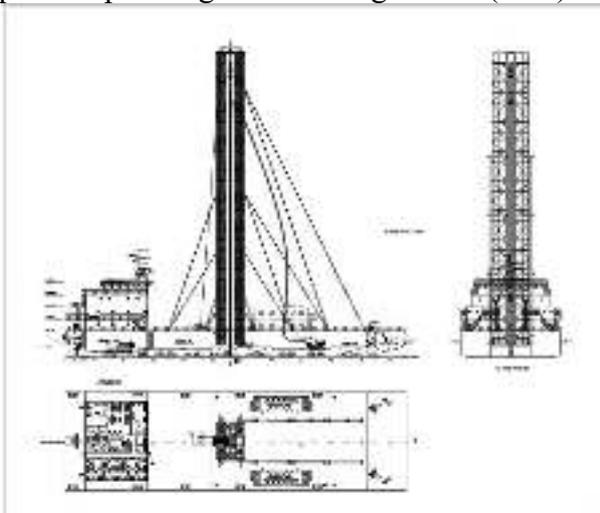
Gambar 1. Insiden Kapal Timah Tenggelam
Sumber: website di [5]

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dalam mengkaji *damage stability* kapal antara lain [4]: *damage stability* pada desain awal FSO dengan menggunakan bantuan komputasi numerik dan hasil tersebut diuji ke dalam beberapa kriteria *damage stability* yakni SOLAS 2009 sehingga dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa pembagian sekat pada kapal desain awal FSO sudah memenuhi persyaratan SOLAS, dan jumlah maksimum kompartemen bocor yang masih dapat ditahan oleh desain awal FSO adalah hingga tiga kompartemen bocor metode kuantitatif untuk menganalisis stabilitas *Intact*, *Damage stability* dan olah gerak pada kapal sebelum

dan sesudah dikonversi [1]. Dari hasil analisis stabilitas didapatkan kapal sebelum dan sesudah konversi memenuhi kriteria IS CODE 2008 Perbedaan nilai GZ maksimum pada kedua model kapal yaitu 26,53 %. Hasil perhitungan *Damage stability* ketiga kapal memenuhi standar safety of life at sea (SOLAS) 2009 Chapter II-1. Stabilitas *Intact* dan stabilitas *damage* pada Kapal Ro-Ro ukuran kecil dengan menggunakan bantuan komputasi numerik [11]. kriteria IS CODE 2008 MSC.267(85) *Code on Intacts stability Part B For Passengers* dan SOLAS 2009 Chapter II-1 Resolution MSC.281 (85) (*based on the probabilistic concept*). Hasil kajian pada semua Kapal Ro-Ro telah memenuhi kriteria pada seluruh kondisi dengan nilai indeks A (*attained subdivision index*) yang mana harus lebih besar atau sama dengan nilai indeks subdivisi R (*required subdivision index*). *Intact stability* dan *damage stability* pada Kapal Ro-Ro ukuran besar menggunakan komputasi numerik berdasarkan IS CODE 2008 MSC.267(85) *Code on Intacts stability Part B For Passengers* dan SOLAS 2009 Chapter II-1 Resolution MSC.281 (85) (*based on the probabilistic concept*) [10]. Hasil kajian *Intact stability* seluruh kapal yang dikaji telah memenuhi kriteria pada 3 kondisi. Hasil Analisa *damage stability* yang menggunakan konsep probabilitas dengan perhitungan indeks subdivisi R (*required subdivision index*) dan A (*attained subdivision index*) untuk seluruh kapal yang dikaji telah memenuhi kriteria ($A \geq R$). *Damage stability* Kapal *Accommodation Barge* pada saat *Crawler Crane* melakukan pengangkatan di atas dek dengan menggunakan referensi untuk menghitung *damage stability* adalah IMO A.1023 (26) [9]. Perhitungan *damage stability* menggunakan metode *lost buoyancy* dengan komputasi numerik dan menggunakan metode *added weight*. Hasil analisis stabilitas menunjukkan bahwa kondisi kompartemen 4S mengalami kebocoran memiliki stabilitas paling kecil dengan range of stability $58.3.6^\circ$.

Pada kajian sebelumnya telah menganalisis stabilitas Kapal Barge Penambang Timah

(BPT) untuk mendapatkan total titik berat vertikal (VCG) maksimum yang masih diijinkan oleh regulasi IMO[8]. *Intact stability*, sehingga dengan adanya beban tiang bor dan tiang hisap beserta konstruksi penyangganya dengan ketinggian mencapai 60 meter yang dapat mempengaruhi ketinggian VCG Kapal secara keseluruhan, maka dengan acuan titik berat vertikal (VCG) maksimal yang diijinkan tersebut dapat menjadi acuan bagi pengaturan tata letak distribusi beban lainnya yang berada pada Kapal Barge Penambang Timah (BPT).

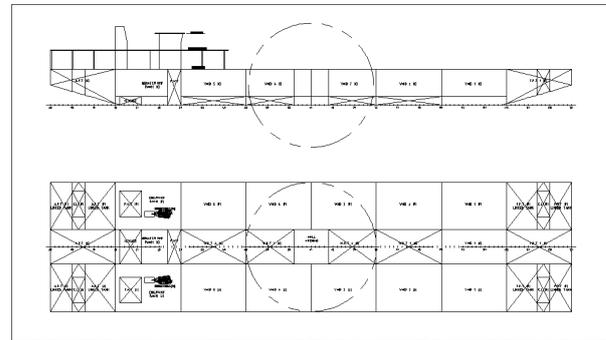


Gambar 2. Gambar Kapal Barge Penambang Timah (BPT)

Penentuan titik berat vertikal pada Kapal Barge Penambang Timah pada kajian sebelumnya 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 2 di atas ini yang merupakan conceptual design Kapal Barge Penambang Timah [8].

Pokok bahasan dan objek yang menjadi kajian dalam paper ini adalah *damage stability* Kapal Barge Penambang Timah (BPT) dimana kapal disimulasikan apabila terjadi kebocoran pada kompartemen kapal. Perencanaan kebocoran dalam kajian ini hanya memfokuskan pada kompartemen yang berada di sekitar hole / lubang Kapal. Seperti tampak pada Gambar 3 ditampilkan gambar rencana ruangan kompartemen. Kapal memiliki *hole* atau lubang yang berada di *midship* dan *center line* kapal yang bertujuan untuk menurunkan

tiang bor dan tiang hisap dari geladak kapal ke arah vertikal menuju *seabed* (dasar laut) untuk proses penambangan bijih timah.



Gambar 3. Kompartemen Kapal Barge Penambang Timah

Garis lingkaran pada Gambar 3 menunjukkan lokasi ruangan kompartemen di sekitar hole yang rawan mengalami kebocoran, hal ini dikarenakan adanya tiang bor dan tiang hisap yang beroperasi di dalam hole tersebut dimana antara motion atau gerakan kapal dan gerakan tiang hisap dan bor memiliki kecenderungan motion yang tidak sama (dinamis) sehingga hal ini menjadi alasan pemilihan lokasi ruangan kompartemen yang akan dianalisis. Untuk data spesifikasi ukuran utama Kapal Barge Penambang Timah ditampilkan pada Tabel 1 di bawah ini

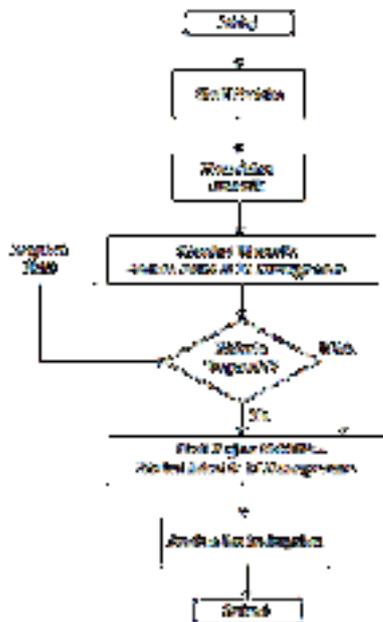
Tabel.1. Data utama Kapal Barge Penambang Timah

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	03.05	m
LCG	34	m

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode simulasi numerik dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *Maxsurf Stability* untuk mendapatkan *probabilistic damage* dan nilai stabilitas kapal, dimana pemodelan numerik akan dilakukan proses simulasi numerik untuk

mendapatkan nilai stabilitas kapal dengan variasi kondisi *Intact* dan *damage*, kemudian komponen nilai-nilai stabilitas kapal dari proses numerik tadi akan diperiksa dengan standar ketentuan dan nilai stabilitas kapal yang dikeluarkan oleh regulasi IMO dan Resolution -- MSC.216(82) or MSC.19(58) untuk mengetahui status dan kondisi stabilitas kapal sebelum dan setelah mengalami kebocoran ruang kompartemen dengan berbagai variasi kompartemen yang mengalami kebocoran [3]. Untuk *flow chart* proses kajian ini ditampilkan pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Flow chart kajian damage stability

Teori Intact Stability

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 [8].

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:

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 m.deg
 - b. Pada sudut roll 0° hingga 40°, luas daerah di bawah kurva GZ > 5.157 m.deg
 - c. Pada sudut roll 30° hingga 40°, luas daerah di bawah kurva GZ > 1.719 m.deg
2. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.2: Pada sudut roll 30° hingga 180°, maka nilai GZ maksimum > 0.2 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° (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 m. (Tinggi Metacenter awal GM₀ tidak boleh kurang dari 0.15 meter). [7] [6]

Teori Damage dengan Pendekatan Probabilistic

Perhitungan kebocoran dengan menggunakan pendekatan probabilistic karena lebih mendekati kenyataan sebenarnya. Pendekatan ini mencakup seluruh kemungkinan kasus kebocoran sepanjang kapal yang bisa terjadi serta kemungkinan dari akibat yang ditimbulkannya. Kemungkinan kasus kebocoran tersebut bisa terjadi pada satu,

dua, tiga atau lebih kompartemen yang saling berdekatan. Jadi dengan metode ini konfigurasi seluruh letak sekat memanjang maupun melintang kapal dapat dinyatakan “relatif mampu” atau tidak untuk membuat kapal bertahan jika mengalami flooding tanpa perlu menghitung jarak per sekat. IMO membuat suatu perhitungan dan regulasi dalam SOLAS requirement Chapter II Part B-1 tentang Subdivision and *damage stability* of cargo ship. Perhitungan SOLAS telah mencakup 2 hal yang disyaratkan dan dibutuhkan dalam perhitungan *damage stability* berdasarkan pada pendekatan probabilistic, yakni:

1. Perhitungan (P) yang mencakup probabilistic atau kemungkinan tentang kompartemen atau grup kompartemen mana yang akan mengalami kebocoran. Kemungkinan ini berlaku sepanjang kapal, yaitu mulai 1 kompartemen bocor sampai kemungkinan kompartemen seluruh panjang kapal mengalami bocor, dimana grup ruang yang terjadi kebocoran adalah ruang atau kompartemen yang saling berdekatan.
2. Perhitungan (S) yang mencakup probabilistic atau kemungkinan atas keselamatan kapal jika kapal mengalami kebocoran pada kompartemen atau grup kompartemennya. Kemungkinan ini juga berlaku sepanjang kapal. [4]

Damage stability

Damage stability adalah keadaan stabilitas kapal pada saat mengalami kebocoran (masuknya air laut ke dalam kompartemen kapal yang bisa terdiri dari satu kompartemen atau lebih dari satu kompartemen yang saling berdekatan). Untuk menghitung *damage stability* terdapat 2 metode yang biasa digunakan, yaitu :

1. Trim Line Added Wight Methode

Prinsip dari metode perhitungan ini adalah bahwa ketika kapal mengalami kebocoran maka ruangan yang kemasukan air tersebut masih dianggap sebagai bagian dari kapal. Sedangkan air yang masuk itu dianggap

sebagai berat tambahan bagi kapal. Karena adanya berat tambahan ini maka displacement kapal akan berubah dari displacement awal kapal sebelum kebocoran. Jika displacement bertambah maka secara otomatis sarat kapal akan naik.

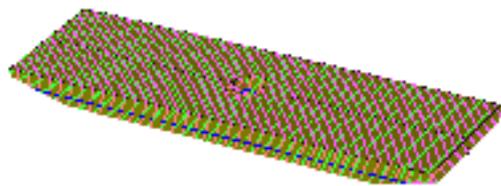
2. Lost Bouyancy Methode

Prinsip dari metode perhitungan ini adalah bahwa ketika kapal mengalami kebocoran, maka ruangan yang kemasukan air sudah tidak dianggap lagi sebagai bagian dari kapal. Karena bagian kapal berkurang, maka besar *buoyancy* atau gaya tekan ke atas juga berkurang. Berkurangnya *buoyancy* maka pada kapal akan terjadi *sinkage* yang menyebabkan sarat kapal akan naik. [4]

Pemodelan Numerik

Simulasi numerik adalah 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].

Geometri Kapal Barge Penambang Timah dibuat dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *Maxsurf Modeler* [2] dalam bentuk geometri 3 dimensi dimana gambar geometri kapal hanya dimodelkan pada bagian lambungnya saja tanpa baling-baling dan kemudi, tanpa gambar bangunan atas dan tanpa peralatan tambahan lainnya yang berada di atas geladak agar kajian fokus pada aspek kajian stabilitas hidrodinamika kapal saja 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:



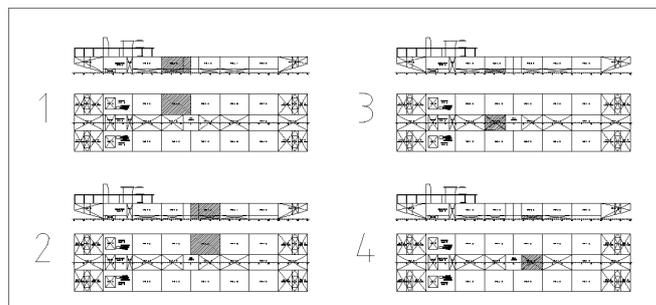
Gambar 5. Pemodelan Kapal Barge Penambang Timah

Simulasi Damage Stability

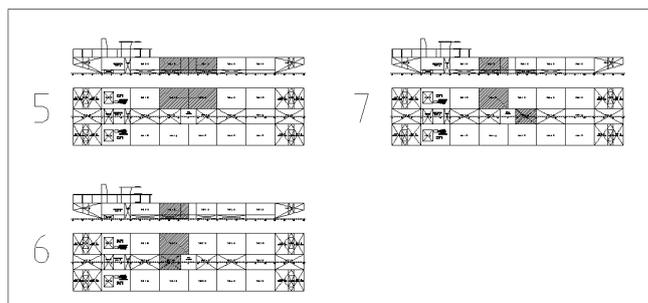
Simulasi stabilitas Kapal Barge Penambang Timah (BPT) menggunakan konfigurasi variasi 1 *Intact case* dan 15 *damage case*. Konfigurasi pada variasi *Intact case* dan *damage case* ditujukan untuk meninjau stabilitas Kapal Barge Penambang Timah (BPT) apabila terjadi kebocoran pada salah satu atau beberapa ruangan kompartemen yang berada di sekitar Hole kapal. Kapal Barge Penambang Timah (BPT) pada modifikasi desain ini sengaja di rancang dalam bentuk barge dengan memiliki lubang / hole yang berada di tengah lambung kapal dengan tujuan agar tiang bor dan tiang hisap kapal dapat masuk ke dasar laut melalui lokasi tersebut. Karena adanya perbedaan motion / gerakan antara lambung kapal dan tiang bor serta tiang hisap menyebabkan kompartemen di sekitar hole sangat beresiko mengalami benturan dengan tiang bor atau tiang hisap yang dapat menyebabkan kebocoran pada kompartemen tersebut. Kompartemen tersebut adalah: Void 3 (P), Void 3 (S), Void 4 (P), Void 4 (S), W.B.T 2 (C), dan W.B.T 2 (C). Konfigurasi perencanaan kebooran atau damage case dari kompartemen diatas dan variasi diantaranya dituangkan dalam bentuk Tabel 2 tentang perencanaan *damage case* pada kompartemen Kapal Barge Penambang Timah (BPT) berikut ini.

Tabel 2. Perencanaan damage case pada kompartemen

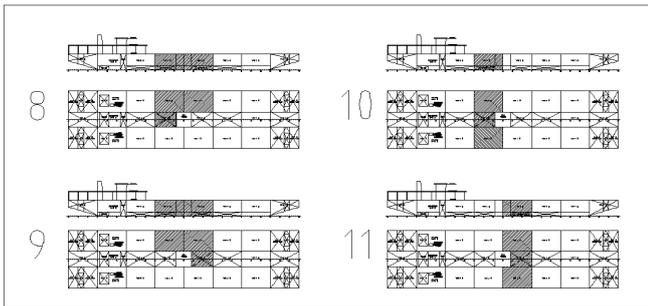
Perencanaan kebocoran terdiri dari 15 damage case yakni: 1 *Compartment Damage Case* yang merupakan kondisi kebocoran pada 1 kompartemen seperti ditampilkan pada Gambar 6; 2 *Compartment Damage Case* yang merupakan kondisi kebocoran pada 2 kompartemen seperti yang ditampilkan pada Gambar 7; 3 *Compartment Damage Case* yang merupakan kondisi kebocoran pada 3 kompartemen seperti ditampilkan pada Gambar 8, 4 *Compartment Damage Case* yang merupakan kondisi kebocoran pada 4 kompartemen seperti ditampilkan pada Gambar 9; 5 and 6 *Compartment Damage Case* yang merupakan kondisi kebocoran pada 5 dan 6 kompartemen seperti ditampilkan pada Gambar 10,



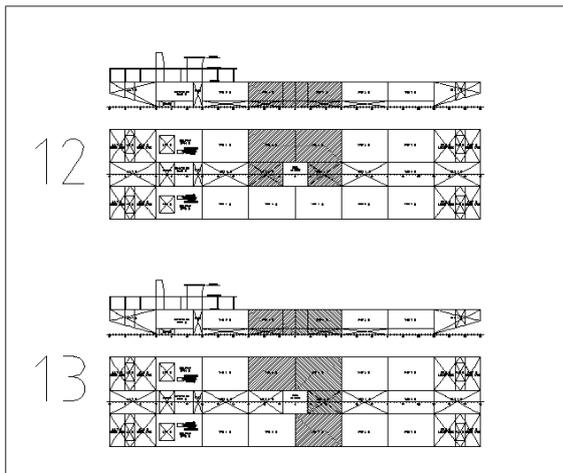
Gambar 6. 1 Compartment Damage Case



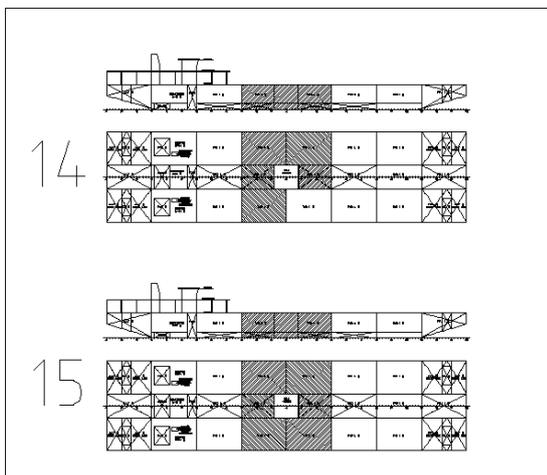
Gambar 7. 2 Compartment Damage Case



Gambar 8. 3 Compartment Damage Case



Gambar 9. 4 Compartment Damage Case

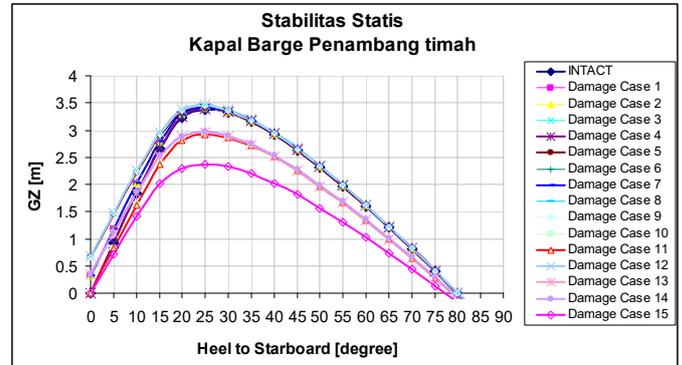


Gambar 10. 5 and 6 Compartment Damage Case

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

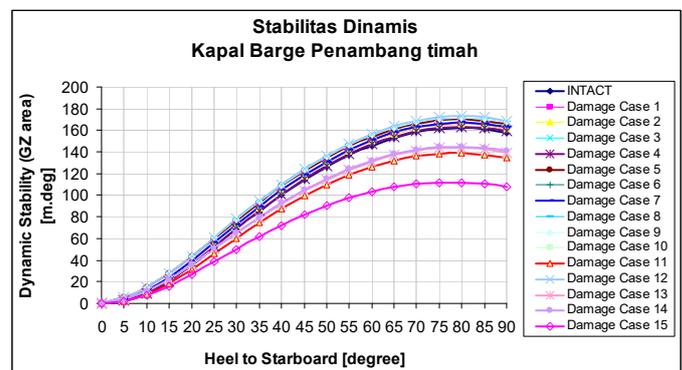
Setelah kajian simulasi numerik *damage stability* ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Stability maka diperoleh grafik stabilitas statis Kapal BPT

pada kondisi *Intact stability* dan *damage stability* seperti yang ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik stabilitas statis Kapal Barge PenambangTimah pada *Damage stability Case*

Pada Gambar 11 di atas menunjukkan bahwa nilai Max GZ terendah terdapat pada kondisi *damage case 15* dengan nilai Max GZ sebesar 2.373 m pada sudut 25.5 derajat, sedangkan pada nilai Max GZ tertinggi terdapat pada kondisi *Intact* dengan nilai Max GZ sebesar 3.373 m pada sudut 25.5 derajat. Sedangkan Gambar 12 di bawah menunjukkan grafik stabilitas dinamis pada Kapal BPT yang memperlihatkan bahwa nilai Max GZ Area terendah adalah terjadi pada *damage case 15* dengan nilai sebesar 111.9767 deg.m pada sudut 75 derajat; dan nilai Max GZ Area tertinggi terjadi pada kondisi *Intact* dengan nilai sebesar 162.0717 deg.m pada sudut 80.



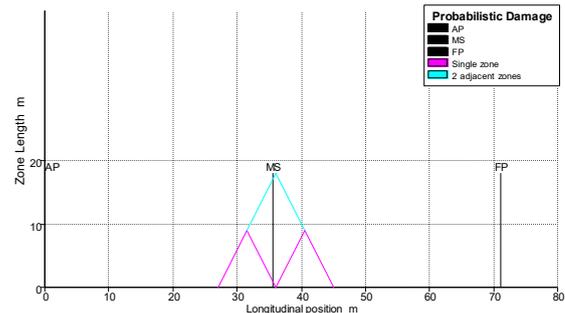
Gambar 12. Grafik stabilitas dinamis Kapal Barge PenambangTimah pada *Damage stability Case*

Hasil kajian stabilitas *Intact* dan *damage* dalam 16 cases seperti yang ditampilkan pada Tabel 4 di bawah dapat diperoleh kesimpulan mengenai kondisi tabilitas tiap kasus, dimana tidak semua kasus pada kajian stabilitas Kapal Barge Penambang timah ini mengalami ketidak stabilan akibat terjadinya kebooran, terdapat beberapa kasus apabila terjadi kombinasi kebocoran dari beberapa kompartemen namun kapal masih dapat stabil dan aman (*stable-safe*) dan stabil namun tidak aman (*stable-nosafe*) dikarenakan nilai antara kriteria minimal yang disyaratkan dengan nilai yang dihasilkan dari kajian stabilitas memiliki nilai yang sama sehingga nilai marginya 0%

Tabel 4. Stabilitas Kapal BPT pada tiap kasus kebocoran

Kasus	Keputusan
Intact Stability	Stabil
Damage Zone 1	Stabil
Damage Zone 2	Stabil
Damage Zone 3	Stabil
Damage Zone 4	Stabil
Damage Zone 5	Stabil
Damage Zone 6	Stabil
Damage Zone 7	Stabil
Damage Zone 8	Stabil
Damage Zone 9	Stabil
Damage Zone 10	Stabil
Damage Zone 11	Stabil
Damage Zone 12	Stabil
Damage Zone 13	Stabil
Damage Zone 14	Stabil
Damage Zone 15	Stabil
Damage Zone 16	Stabil

Hasil kajian *damage stability* dengan metode *probabilistic damage* menggunakan variasi 3 load case yakni pada kondisi muatan penuh atau full load, kondisi muatan setengah atau half load, dan kondisi tanpa ada muatan dan cairan di dalam tanki atau kompartemen yang disebut dengan loadcase lightship. Posisi *damage zone* dan segitiga kebocoran pada Kapal Barge Penambang Timah seperti pada Gambar 13 di bawah merupakan hasil simulasi dari 6 kompartemen yang berada di sekitar hole kapal yakni pada posisi longitudinal 27 m hingga 45 m yang menunjukkan kondisi kebocoran pada sisi tangki salah satu bagian sisi samping kapal.



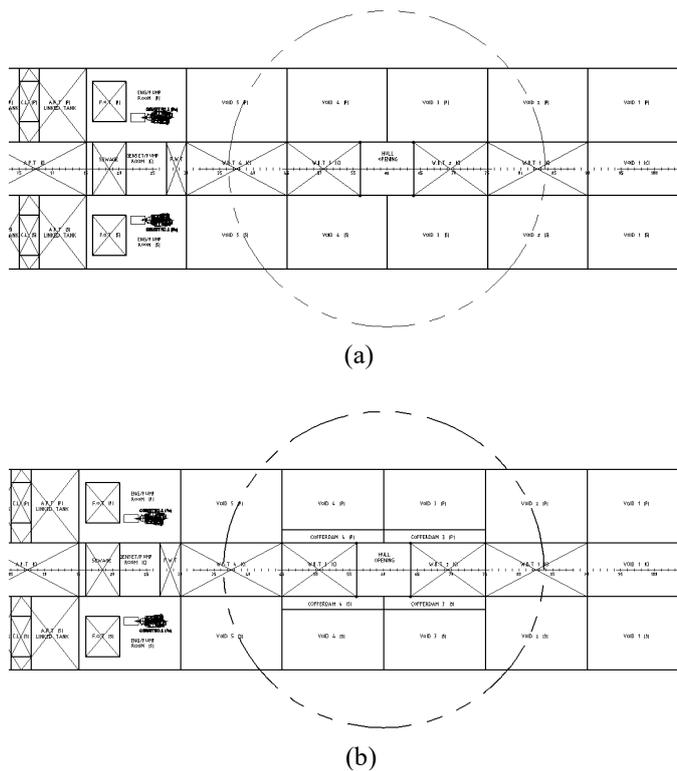
Gambar 13. Posisi Damage Zone dan segitiga kebocoran

Tabel 4. Kriteria Stabilitas IMO variasi *damage stability*

Case	Damage Zone	Load Case	Initial Stability		Final Stability		Stability Margin		Stability Margin (%)	Status
			GM (m)	GMcrit (m)	GM (m)	GMcrit (m)	GM (m)	GMcrit (m)		
Case 1	None	Full	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
		Half	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
		Lightship	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
Case 2	None	Full	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
		Half	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
		Lightship	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
Case 3	None	Full	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
		Half	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
		Lightship	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
Case 4	None	Full	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
		Half	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
		Lightship	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
Case 5	None	Full	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
		Half	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
		Lightship	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
Case 6	None	Full	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
		Half	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00
		Lightship	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00

Hasil kajian *damage stability* dengan metode *probabilistic damage* pada lokasi kompartemen yang memiliki resiko tinggi untuk mengalami kebocoran yang berada di sekitar *hole* pada Tabel 4 di atas menunjukkan bahwa pada kondisi lightship hingga kondisi full load kapal tidak memenuhi kriteria aman dalam kondisi *damage stability*.

Untuk mengatasi adanya ketidakstabilan pada Kapal Barge Penambang Timah saat mengalami kondisi *damage* maka perlu dilakukan perbaikan desain dengan cara menambahkan sekat kedap memanjang / *longitudinal watertight* di sepanjang kompartemen Void 3 (P) dan (S), juga pada kompartemen Void 4 (P) dan (S) sehingga tercipta ruang baru yang bisa disebut sebagai *cofferdam* seperti ditampilkan pada Gambar 14 di bawah ini.



Gambar 14. Penambahan sekat kedap pada Kapal BPT.
(a) Gambar Kompartemen BPT sebelum diberi sekat kedap.
(b) Gambar Kompartemen BPT setelah diberi sekat kedap.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan kajian terhadap stabilitas Kapal Barge Penambang Timah pada kondisi *Intact* dan *damage stability* terhadap ketentuan stabilitas kapal menurut kriteria dari IMO regulasi dalam SOLAS requirement Chapter II Part B-1 tentang Subdivision and *damage stability* of cargo ship maka dapat disimpulkan bahwa Kapal menjadi tidak stabil apabila terjadi kebocoran pada kompartemen di salah satu sisi samping hole kapal seperti kompartemen Void 3 dan 4 apakah itu letaknya di Portside (P) atau di Starboard (S). Meskipun ada beberapa kondisi kebocoran (*damage case*) dimana kapal masih masuk dalam kriteria kondisi stabil namun secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa Kapal Barge Penambang Timah akan mengalami ketidak-stabilan (*unstable*) saat terjadi kebocoran pada kompartemen di sekitar hole

sehingga solusi yang dilakukan adalah dengan cara menambahkan pemasangan *watertight* / sekat kedap memanjang dengan lebar 1200 mm yang terletak pada kompartemen: Void 3 (P), Void 4 (P), Void 3 (S), dan Void 4 (S).

Perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai efektivitas dari penambahan sekat kedap untuk membuat ruang cofferdam di sisi portside dan starboard dari hole, dan membandingkan stabilitas Kapal Barge Penambang Timah dengan apabila dilakukan pembuatan / pemasangan double bottom pada kompartemen Void 4 (P) dan (S) dengan ketinggian sejajar dengan double bottom pada kompartemen WBT 4 (C); dan pembuatan double bottom pada kompartemen Void 3 (P) dan (S) dengan ketinggian sejajar dengan double bottom pada kompartemen WBT 3 (C).

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anwar, Oktaqul. et. al. (2018). “Analisa Stabilitas (*Intact*, *Damage Stability*) Dan Olah Gerak Landing Craft Tank (LCT) Di Konversi Menjadi Tipe Ro-Ro”. Jurnal Teknik Perkapalan, UNDIP. Semarang.
- [2] Bentley Systems, Incorporated 2017. Maxsurf Modeler User Manual Book.
- [3] Bentley Systems, Incorporated 2017. Maxsurf Stability User Manual Book.
- [4] Cakasana, Narendra Agrawira. (2017). “Analisis *Damage stability* pada Desain Awal FSO Untuk Lapangan Minyak Kakap di Laut Natuna Provinsi Kepulauan Riau”. Tugas Akhir. Departemen Teknik Perkapalan - ITS. Surabaya.
- [5] <https://megapolitan.kompas.com/read/2019/08/31/19365291/kapal-milik-pt-timah-tenggelam-di-perairan-prayun-riau> diakses

pada 27 Oktober 2019 pukul 11.27 GMT
+ 7

- [6] IMO International Maritime Organization. Code A.749(18) Ch 3 – Code on *Intact* stability for all of ships, design criteria applicable to all ships
- [7] Mujahid, Ahmad Syafiul. (2018). “Kajian Penambahan Bilge Keel Terhadap Gerak Olang Kapal Kontainer Tipe Small Feeder”. Jurnal Inovtek Polbeng, Vol. 8, No. 2.
- [8] Mujahid, Ahmad Syafiul. (2019). “Kajian Penentuan Titik Berat Vertikal Pada Studi Kelayakan Desain Kapal Barge Penambang Timah Terhadap Stabilitas Kapal”. Jurnal Inovtek Polbeng, Vol. 9, No. 1.
- [9] Perdana, Khoiron S. et al. (2012). "Analisis *Damage stability* Accomodation Barge Pada Saat Operasi Crawler Crane". JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1. ISSN: 2301-9271.
- [10] Rizaldo, M Fikri. (2019). “Analisis *Intact* Stability dan *Damage stability* pada Kapal Ro-Ro Ukuran Besar di Perairan Indonesia Berdasarkan IS CODE 2008”. Jurnal KAPAL, Vol. 16, No. 2.
- [11] Serpa, Muhammad Julnanda. et. al. (2018). “Analisa Stabilitas (*Intact* And *Damage* Stability) Pada Kapal Ro-Ro Ukuran Kecil Di Perairan Indonesia Berdasar IS CODE 2008”. Jurnal Teknik Perkapalan, UNDIP. Semarang.