



**KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI
REPUBLIK INDONESIA**

LAPORAN AKHIR

KNKT.17.06.17.03

Laporan Investigasi Kecelakaan Pelayaran

Tenggelamnya Avatar

(IMO 8916750)

Di Selat Malaka, Republik Indonesia

14 Juni 2017

2022

*Keselamatan merupakan pertimbangan utama KNKT untuk mengusulkan rekomendasi keselamatan sebagai hasil suatu penyelidikan dan penelitian.
KNKT menyadari bahwa dalam pengimplementasian suatu rekomendasi kasus yang terkait dapat menambah biaya operasional dan manajemen instansi/pihak terkait.
Para pembaca sangat disarankan untuk menggunakan informasi laporan KNKT ini untuk meningkatkan dan mengembangkan keselamatan transportasi;
Laporan KNKT tidak dapat digunakan sebagai dasar untuk menuntut dan menggugat di hadapan peradilan mana pun.*

Laporan ini disusun didasarkan pada:

1. Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran, Pasal 256 dan 257 berikut penjelasannya.
2. Peraturan Pemerintah Nomor 62 Tahun 2013 tentang Investigasi Kecelakaan Transportasi.
3. Peraturan Presiden Nomor 2 Tahun 2012 tentang Komite Nasional Keselamatan Transportasi.
4. Resolusi IMO MSC.255 (84) tentang Kode Investigasi Kecelakaan.

Laporan ini diterbitkan oleh **Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT)**, Gedung Perhubungan Lantai 3, Kementerian Perhubungan, Jln. Medan Merdeka Timur No. 5, Jakarta 10110, Indonesia, pada tahun 2022.

ISBN:-

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa dengan telah selesainya penyusunan Laporan Akhir Investigasi Kecelakaan Pelayaran Nomor: KNKT.17.06.17.03, tenggelamnya kapal peti kemas *Avatar* yang dioperasikan oleh PT Pelayaran Syandi Arung Samudera di Selat Malaka pada tanggal 14 Juni 2017.

Bahwa tersusunnya Laporan Akhir Investigasi Kecelakaan Pelayaran ini sebagai pelaksanaan dari amanah atau ketentuan Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran, Pasal 256 dan 257 serta Peraturan Pemerintah Nomor 62 Tahun 2013 tentang Investigasi Kecelakaan Transportasi, Pasal 39 ayat 2 huruf c, menyatakan "Laporan investigasi kecelakaan transportasi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) terdiri atas laporan akhir".

Laporan Akhir Investigasi Kecelakaan Pelayaran ini merupakan hasil keseluruhan investigasi kecelakaan yang memuat antara lain; informasi fakta, analisis fakta penyebab paling memungkinkan terjadinya kecelakaan transportasi, saran tindak lanjut untuk pencegahan dan perbaikan, serta lampiran hasil investigasi dan dokumen pendukung lainnya. Di dalam laporan ini dibahas mengenai kejadian kecelakaan pelayaran tentang apa, bagaimana, dan mengapa kecelakaan tersebut terjadi serta temuan tentang penyebab kecelakaan beserta rekomendasi keselamatan pelayaran kepada para pihak untuk mengurangi atau mencegah terjadinya kecelakaan dengan penyebab yang sama agar tidak terulang di masa yang akan datang. Penyusunan laporan akhir ini disampaikan atau dipublikasikan setelah meminta tanggapan dan atau masukan dari regulator, operator, pabrikan sarana transportasi, dan para pihak terkait lainnya.

Demikian Laporan Akhir Investigasi Kecelakaan Pelayaran ini dibuat agar para pihak yang berkepentingan dapat mengetahui dan mengambil pembelajaran dari kejadian kecelakaan ini.

Keselamatan merupakan pertimbangan utama KNKT untuk mengusulkan rekomendasi keselamatan sebagai hasil suatu penyelidikan dan penelitian.

KNKT menyadari bahwa dalam pengimplementasian suatu rekomendasi kasus yang terkait dapat menambah biaya operasional dan manajemen instansi/pihak terkait.

Para pembaca sangat disarankan untuk menggunakan informasi laporan KNKT ini untuk meningkatkan dan mengembangkan keselamatan transportasi.

Laporan KNKT tidak dapat digunakan sebagai dasar untuk menuntut dan menggugat di hadapan peradilan mana pun.

Jakarta, 12 April 2022

**KETUA KOMITE NASIONAL
KESELAMATAN TRANSPORTASI**



Dr. Ir. SOERJANTO TJAHOJONO

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR ISTILAH.....	xi
SINOPSIS.....	xiii
I. INFORMASI FAKTUAL.....	1
I.1. KRONOLOGI KEJADIAN.....	1
I.1.1. Tenggelamnya kapal.....	1
I.1.2. Proses Pencarian dan Penyelamatan.....	2
I.2. DATA KAPAL.....	3
I.2.1. Ukuran Utama.....	3
I.2.2. Struktur Konstruksi Kapal.....	4
I.2.3. Permesinan dan propulsi kapal.....	4
I.2.4. Perlengkapan Keselamatan.....	4
I.2.5. Peralatan Navigasi dan telekomunikasi.....	4
I.2.6. Temuan terhadap data AIS kapal.....	5
I.2.7. Rencana Pelayaran (<i>Passage Planning</i>).....	5
I.3. MUATAN.....	6
I.3.1. Pemuatan di <i>Avatar</i>	6
I.3.2. Stabilitas kapal pasca pemuatan dan persiapan keberangkatan kapal.....	7
I.4. PENGAWAKAN.....	8
I.4.1. Awak kapal <i>Avatar</i>	8
I.4.2. Ketentuan pengawakan.....	8
I.5. INFORMASI CUACA.....	10
II. ANALISIS.....	11
II.1. PROSES TENGGEAMNYA KAPAL.....	11
II.1.1. Perhitungan Respons Gerakan Kapal Akibat Gelombang.....	11
II.1.2. Perhitungan Stabilitas Kapal.....	12
II.2. PENGAWASAN PEMUATAN DAN PERHITUNGAN STABILITAS.....	14
II.3. PENGAWAKAN.....	15
II.4. SINYAL MARA BAHAYA.....	16

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

II.5. DISTRIBUSI BERITA CUACA.....	17
III. KESIMPULAN.....	19
III.1. TEMUAN.....	19
III.2. FAKTOR YANG BERKONTRIBUSI.....	19
IV. TINDAKAN KESELAMATAN.....	21
V. REKOMENDASI.....	23
V.1. BMKG.....	23
V.2. DIREKTORAT JENDERAL PERHUBUNGAN LAUT.....	23
V.3. KESYAHBANDARAN UTAMA BELAWAN.....	23
V.4. PT PELAYARAN SYANDI ARUNG SAMUDERA.....	23
SUMBER INFORMASI.....	25
LAMPIRAN.....	27
Analisis stabilitas.....	27
Intact Stability.....	27
Stabilitas Benda Terapung.....	27
Intact Stability Criteria.....	27
Wind Stability Criteria.....	28
Damage Stability.....	29
Trim Line Added Weight Method.....	29
Lost Buoyancy Method.....	30
Gerakan Struktur Pada Gelombang.....	30
Gelombang Irregular.....	32
Spektrum Gelombang.....	32
Simulasi Tenggelamnya Kapal KM. <i>Avatar</i>	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar I-1: Lintasan dan Posisi Tenggelamnya Avatar (Peta dari google earth, lintasan didasarkan pada keterangan awak kapal).....	1
Gambar I-2: Posisi Tenggelamnya Kapal (Sumber peta: APMM).....	2
Gambar I-3: Rekonstruksi Ulang Secara Grafis Tampilan Kapal Avatar.....	3
Gambar I-4: Rencana Pelayaran Avatar Dari Belawan Menuju Batam.....	6
Gambar I-5: Peletakan Muatan di Atas Geladak.....	6
Gambar I-6: Resume Uji Stabilitas Kapal Melalui Perhitungan MAXSURF.....	7
Gambar I-7: Citra Satelit Cuaca Pada Tanggal Kejadian.....	10
Gambar II- 1: Keadaan kapal akibat gelombang.....	11
Gambar II-2: Grafik Respons Gerakan Rolling Kapal.....	12
Gambar II-3: Respons dan Stabilitas Kapal Terhadap Angin.....	13
Gambar II-4: Grafik Perbandingan Tinggi GZ.....	14

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

DAFTAR TABEL

Tabel I-1: Bidang Keahlian Nautika.....	9
Tabel I-2: Bidang Keahlian Teknika.....	9
Tabel 3 Hasil Perhitungan Respons Gerakan Rolling Kapal Akibat Gelombang.....	36

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

DAFTAR ISTILAH

Evakuasi darurat adalah perpindahan langsung dan cepat dari orang-orang yang menjauh dari ancaman atau kejadian yang sebenarnya dari bahaya.

Investigasi dan penelitian adalah kegiatan investigasi dan penelitian keselamatan (safety investigation) kecelakaan laut ataupun insiden laut yakni suatu proses baik yang dilaksanakan di publik (in public) ataupun dengan alat bantu kamera (in camera) yang dilakukan dengan maksud mencegah kecelakaan dengan penyebab sama (casualty prevention);

Investigator kecelakaan laut (marine casualty investigator) adalah seseorang yang ditugaskan oleh yang berwenang untuk melaksanakan investigasi dan penelitian suatu kecelakaan atau insiden laut dan memenuhi kualifikasi sebagai investigator;

Lokasi kecelakaan adalah suatu lokasi/tempat terjadinya kecelakaan atau insiden laut yang terdapat kerangka kapal, lokasi tubrukan kapal, terjadinya kerusakan berat pada kapal, harta benda, serta fasilitas pendukung lain;

Kecelakaan sangat berat (very serious casualty) adalah suatu kecelakaan yang dialami satu kapal yang berakibat hilangnya kapal tersebut atau sama sekali tidak dapat diselamatkan (total loss), menimbulkan korban jiwa atau pencemaran berat;

Kelaiklautan Kapal adalah keadaan kapal yang memenuhi persyaratan keselamatan kapal, pencegahan pencemaran perairan dari kapal, pengawakan, garis muat, pemuatan, kesejahteraan Awak Kapal dan kesehatan penumpang, status hukum kapal, manajemen keselamatan dan pencegahan pencemaran dari kapal, dan manajemen keamanan kapal untuk berlayar di perairan tertentu.

Keselamatan Kapal adalah keadaan kapal yang memenuhi persyaratan material, konstruksi, bangunan, permesinan dan perlistrikan, stabilitas, tata susunan serta perlengkapan termasuk perlengkapan alat penolong dan radio, elektronik kapal, yang dibuktikan dengan sertifikat setelah dilakukan pemeriksaan dan pengujian.

Penyebab (causes) adalah segala tindakan penghilangan/kelalaian (omissions) terhadap kejadian yang saat itu sedang berjalan atau kondisi yang ada sebelumnya atau gabungan dari kedua hal tersebut, yang mengarah terjadinya kecelakaan atau insiden.

AIS	: <i>Automatic Identification System</i>
APPM	: <i>Agensi Penguatkuasaan Maritim Malaysia</i>
EPIRB	: <i>Emergency Position Indicating Radio Beacon</i>
GPS	: <i>Global Positioning System</i>
MMSI	: <i>Marine Mobile Security Identification</i>
NAVTEX	: <i>Navigational Telex</i>
TSS	: <i>Traffic Separation Scheme</i>
VHF	: <i>Very High Frequency</i>
VTS	: <i>Vessel Traffic Service</i>

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

SINOPSIS

Pada tanggal 14 Juni 2017, sekitar pukul 02.30 WIB, kapal *Avatar* yang membawa 63 unit peti kemas tenggelam di perairan Selat Malaka. Sebanyak 14 orang awak kapal ditemukan dalam keadaan selamat oleh sebuah kapal yang sedang melintasi perairan Selat Malaka, sedangkan 1 orang awak lainnya yaitu Nakhoda kapal ditemukan meninggal. Tidak ada pencemaran akibat kecelakaan ini, tetapi banyak peti kemas kapal terlepas dari kapal dan terapung-apung di sekitar lokasi kejadian.

KNKT menemukan bahwa tenggelamnya kapal dikarenakan kondisi stabilitas kapal tidak dapat menghadapi perubahan kondisi cuaca yang tiba-tiba berubah. Energi yang dihasilkan dari perubahan cuaca ini lebih besar dibandingkan dengan kemampuan kapal untuk kembali tegak. Pihak kapal tidak menerima berita perubahan cuaca ini dikarenakan minimnya fasilitas untuk menerima berita peringatan cuaca. Di sisi lain, investigasi juga menemukan bahwa pemutakhiran berita cuaca atau peringatan dini yang dikeluarkan oleh otoritas terkait tidak secara simultan diterima oleh operator kapal. Dikaitkan dengan proses pencarian dan pertolongan, investigasi KNKT menemukan bahwa tidak ada sinyal mara bahaya disiarkan oleh kapal melalui perangkat mara bahaya yang tersedia di kapal.

KNKT menyampaikan butir-butir rekomendasi terkait dengan temuan-temuan untuk mencegah kejadian serupa tidak terulang kembali. KNKT menyampaikan saran masukan kepada otoritas pengawas kenavigasian pelayaran untuk bekerja sama dengan lembaga analis cuaca guna dapat mendistribusikan peringatan dini melalui mekanisme radio pantai.

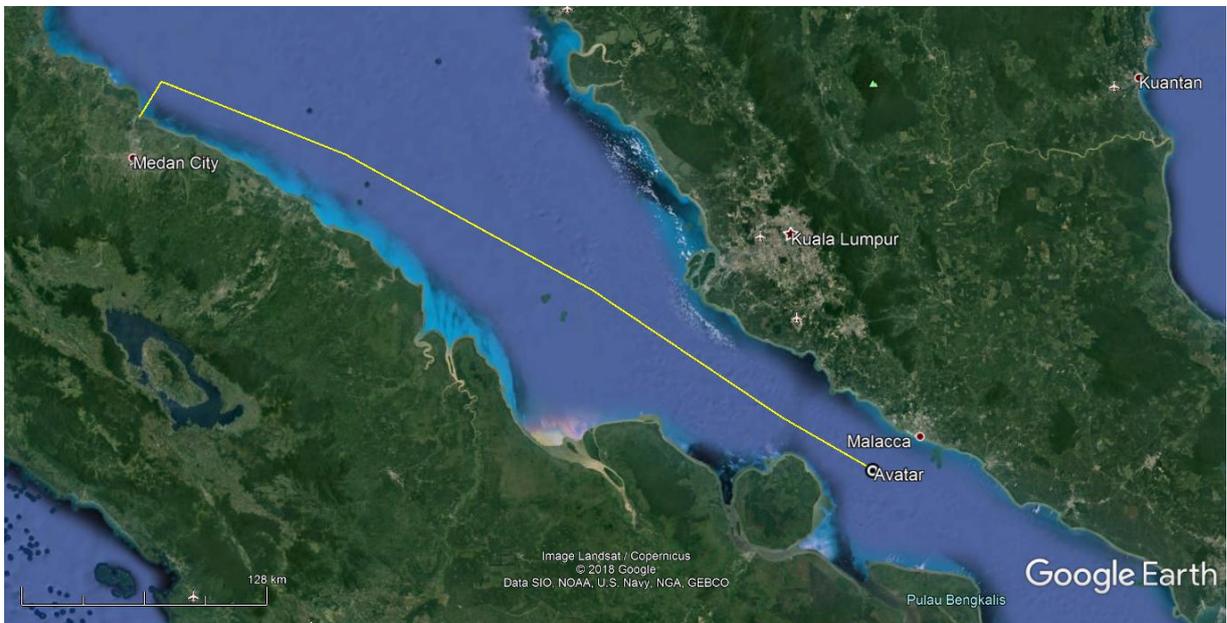
I. INFORMASI FAKTUAL

I.1. KRONOLOGI KEJADIAN

I.1.1. Tenggelamnya kapal

Pada hari Selasa tanggal 13 Juni 2017, pukul 00.15 WIB¹, *Avatar* berangkat dari Dermaga Gudang 201 Pelabuhan Belawan dengan tujuan Batam. Kapal meninggalkan dermaga dengan dibantu pandu. Kapal membawa muatan 63 peti kemas. Sewaktu berada di kapal, Pandu sempat merasakan olengan kapal bergerak lambat. Namun kapal tetap tegak dan stabil. Setelah Pandu turun, kapal melanjutkan pelayarannya melintasi Selat Malaka.

Hari Rabu tanggal 14 Juni 2017 pukul 02.00 WIB, Muallim II bertindak sebagai perwira jaga. Posisi *Avatar* tengah berlayar di Selat Malaka. Kondisi perairan saat itu tenang (*smooth sea*), keadaan cuaca berawan, angin bertiup dari selatan dengan kecepatan kurang dari 10 knot serta jarak pandang baik. Saat itu kapal bernavigasi dengan radar yang dioperasikan pada jangkauan 6 mil laut untuk memantau lalu-lintas sekitar dan *global positioning system* (GPS) untuk menentukan posisi kapal.



Gambar I-1: Lintasan dan Posisi Tenggelamnya Avatar (Peta dari google earth, lintasan didasarkan pada keterangan awak kapal)

Sekitar pukul 02.30 WIB, tiba-tiba cuaca memburuk. Angin berubah menjadi kencang dan gelombang laut menjadi tinggi yang disertai dengan hujan. Ketinggian gelombang mencapai 3 meter. Kapal terkena hempasan gelombang tinggi dari sebelah kanan haluan yang mengakibatkan kapal miring kiri sekitar 5 derajat. Namun demikian, kapal mampu tegak kembali dengan sendirinya. Kapal masih berlayar dengan haluan 132 derajat pada kecepatan 6,7 knot. Goncangan kuat ini membuat awak kapal yang sedang beristirahat terjaga dan bergegas mencari tahu informasi tentang kondisi kapal.

¹ Waktu Indonesia Bagian Barat (UTC+07:00)

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

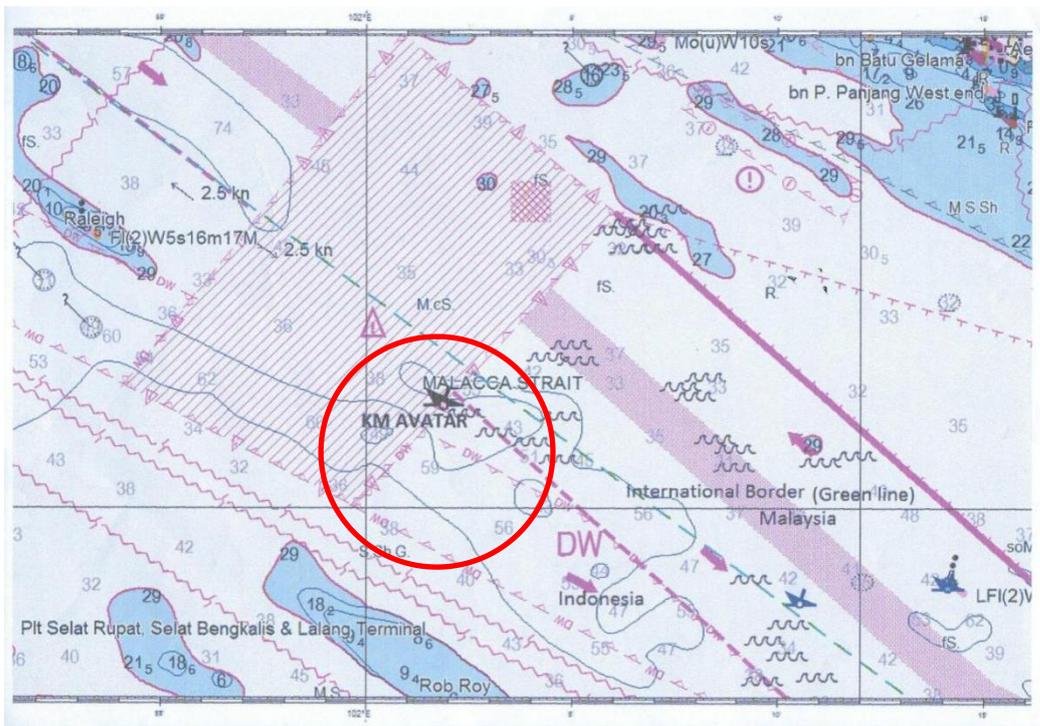
Dikarenakan kapal mengalami guncangan yang kuat membuat awak kapal terjaga. Tidak lama berselang kapal mendapat hempasan gelombang tinggi kembali berakibat kapal miring ke kiri, dan terus disusul gelombang tinggi berikutnya dengan periode yang sangat singkat. Sewaktu kapal bertambah miring kiri dan dirasakan kapal sudah tidak stabil lagi, semua awak kapal segera berkumpul di buritan kanan sambil mengenakan jaket penolong. Kepala Kamar Mesin (KKM) melepaskan rakit penolong kembang (*inflatable liferaft*). Selanjutnya seluruh awak kapal menyelamatkan diri dengan meloncat ke laut sebelum kapal terbalik. Kemiringan kapal bertambah besar dan kemudian kapal rebah ke kiri. Tidak lama kemudian kapal tenggelam sepenuhnya.

Sekitar pukul 03.00 WIB, sebanyak sebelas awak kapal berhasil meraih rakit penolong kembang dan naik ke dalamnya. Sedangkan empat awak kapal lainnya berpegangan pada peti kemas yang berbeda dan terlepas dari kapal. Selanjutnya awak kapal terapung-apung di laut. Awak kapal menyalakan piroteknik (*parachute rocket, flares & smoke signal*) yang terdapat pada rakit penolong dan lampu senter, dengan harapan bisa menarik perhatian dan mendapat pertolongan dari kapal-kapal yang sedang melintas.

I.1.2. Proses Pencarian dan Penyelamatan

Sekitar pukul 09.00 WIB, *MV Undine* yang sedang berlayar melintas Selat Malaka ke arah timur (*eastbound*) berada di sekitar lokasi kejadian. *MV Undine* berhasil menyelamatkan sebelas awak kapal dari rakit penolong dan dua awak kapal yang berpegangan pada peti kemas. Sementara itu, Nakhoda dan Koki belum ditemukan.

Stasiun *Vessel Traffic Service* (VTS) Klang Malaysia mendapatkan laporan dari kapal-kapal yang melintas Selat Malaka bahwa terdapat peti kemas yang terapung. Selanjutnya kapal Agensi Penguatkuasaan Maritim Malaysia (APMM) dikirimkan untuk memeriksa lokasi. Berdasarkan laporan yang diterima APMM, posisi koordinat *Avatar* adalah 02°2.6871'U/ 102°01.8811'T.



Gambar I-2: Posisi Tenggelamnya Kapal (Sumber peta: APMM)

Sekitar pukul 10.00 WIB, awak *MV Undine* menyampaikan perihal evakuasi awak *Avatar* kepada VTS Klang. Berita ini selanjutnya direspons oleh kapal APMM. Korban yang selamat kemudian dipindahkan ke kapal APMM dan selanjutnya dibawa ke Melaka, Malaysia.

Pada hari Kamis tanggal 15 Juni 2017, pihak APMM berhasil menemukan dua korban yang tersisa. Koki ditemukan dalam keadaan selamat, sedangkan Nakhoda ditemukan dalam keadaan meninggal dunia. Jenazah Nakhoda diserahkan ke rumah sakit besar Melaka dan dilakukan postmortem. Awak kapal yang selamat mendapatkan perawatan medis dan selanjutnya diperbolehkan keluar rumah sakit.

APMM melalui VTS Port Klang menyebarkan berita mara bahaya berikut potensi peti kemas *Avatar* yang tercecer kepada seluruh pengguna TSS (*Traffic Separation Scheme*) Selat Malaka.

Seluruh awak kapal yang berhasil diselamatkan selanjutnya ditangani oleh Konsulat Jenderal Republik Indonesia dan operator kapal di Melaka. Jenazah Nakhoda kemudian diserahkan kepada pihak keluarga pada tanggal 20 Juni 2017.

I.2. DATA KAPAL



Gambar I-3: Rekonstruksi Ulang Secara Grafis Tampilan Kapal Avatar.

I.2.1. Ukuran Utama

Kapal *Avatar* eks *Persik* eks *New Tsuruyoshi* (IMO 8916750) merupakan kapal barang pengangkut peti kemas berbendera Indonesia dengan tanda panggil (*Call Sign*) PMYI. Kapal ini dibangun dengan konstruksi dasar baja pada tahun 1990 di galangan *Shitanoe Shipbuilding Co* Jepang. Pada tahun 2009, kapal dibeli perusahaan pelayaran Indonesia dan dioperasikan di lintasan domestik. Selanjutnya pada tahun 2012, Kapal dimiliki PT Batam Cahaya Logistik dan dioperasikan oleh PT Pelayaran Syandi Arung Samudera, Samarinda. Kapal didaftarkan di Surabaya dan diklasikan pada PT Biro Klasifikasi Indonesia (persero) dengan notasi lambung **A100 Φ P** dan notasi mesin **SM**.

Kapal memiliki panjang keseluruhan 59,6 m, lebar 9,75 m, tinggi 5,3 m dan sarat kapal maksimum 3,06 m dengan tonase kotor GT 678. Pada sarat maksimum bobot mati (*deadweight*) kapal adalah sebesar 690 ton.

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

I.2.2. Struktur Konstruksi Kapal

Kapal *Avatar* terdiri dari geladak utama, geladak kedua dan bangunan atas rumah geladak. Berikut rincian bagian utama kapal:

- Ruang navigasi, akomodasi awak kapal berada di bagian buritan kapal.
- Kapal memiliki satu palka untuk muatan peti kemas. Penempatan peti kemas pada geladak utama hanya satu tier peti kemas saja yang disusun sepanjang ruang muat.
- Geladak Kedua: Pada geladak kedua terdapat geladak ruang muat dan kamar mesin. Muatan peti kemas ditumpuk sebanyak dua tumpukan (tier) dan disusun sepanjang ruang muat.
- Kamar mesin: Kamar mesin terletak pada bagian buritan. Akses ke ruang kamar mesin melalui pintu kedap air yang terdapat pada geladak utama kiri dan kanan.
- Tangki: *Avatar* memiliki banyak tangki balas yaitu di bagian *fore peak* (FPT) di bagian bawah dasar ganda (Tangki Balas No.1, No.2, No.3, No.4) yang dibagi menjadi dua bagian kiri dan kanan. Balas juga berada di bagian *after peak* (APT) selain air balas juga ditaruh pada bagian sisi lambung kapal (SWBT). Sedangkan untuk tangki air tawar dan tangki bahan bakar terletak di belakang sekat kamar mesin

I.2.3. Permesinan dan propulsi kapal

Sistem pendorong kapal *Avatar* menggunakan satu unit mesin utama jenis diesel 4 langkah 6 silinder segaris vertikal tipe ML628GSC buatan Matsui Iron Works Co. Ltd., Jepang. Pada putaran mesin 320 rpm, mesin kapal menghasilkan daya sebesar 625 kW. Mesin utama dimaksud disambung dengan gigi reduksi yang menggerakkan satu unit baling-baling jenis langkah tetap (*fixed pitch propeller*).

Kendali kemudi menggunakan mesin hidraulik elektrik.

Daya listrik kapal disuplai oleh tiga unit mesin bantu jenis diesel 4 langkah merk Yanmar seri 6CHL-HTN. Masing-masing mesin bantu menghasilkan daya 120 kW pada putaran mesin 1800 rpm. Setiap mesin bantu menggerakkan generator dengan daya 80 kVA pada tegangan 225 volt.

I.2.4. Perlengkapan Keselamatan

Kapal *Avatar* memiliki serangkaian perlengkapan keselamatan yang meliputi:

- Sekoci penolong dengan kapasitas 8 orang : 1 unit
- Rakit penolong kembang dengan kapasitas masing-masing 25 orang : 2 unit
- Pelampung penolong : 8 unit
- Baju penolong : 20 unit
- Baju pelindung panas : 2 set

Hasil pemeriksaan oleh marine inspektur Kantor Pelabuhan Batam pada tanggal 3 Januari 2017 menyatakan semua perlengkapan keselamatan dalam kondisi laik.

I.2.5. Peralatan Navigasi dan telekomunikasi

Kapal dilengkapi dengan serangkaian peralatan navigasi dan telekomunikasi seperti halnya Radio VHF, *two ways*, Radar Transponder 9 GHz, GPS, AIS (*automatic identification system*) *Transciever*, radar, peta navigasi kertas berikut serangkaian peralatan pendukungnya, dan perum gema (*Echosounder*).

Peralatan pemancar sinyal bahaya di kapal terdiri dari EPIRB (*emergency positioning indicator radio beacon*) dengan masa operasi baterai sampai dengan April 2018. Usaha untuk menyiarkan berita bahaya/darurat kapal memiliki radio komunikasi jenis VHF. Di atas kapal juga terdapat perangkat penerima NAVTEX.

Khususnya untuk EPIRB, alat ini merupakan persyaratan sertifikasi keselamatan kapal yang berfungsi untuk menyiarkan sinyal mara bahaya yang ditangkap oleh sinyal COSPAS SARSAT pada frekuensi 121,5/243 MHz dan 406 MHz. Unit EPIRB terpasang dengan mekanisme *hydrostatic release unit* (HRU) yang bekerja untuk melepaskan unit EPIRB pada saat kapal tenggelam pada kedalaman tertentu. EPIRB ini memiliki daya apung yang cukup sehingga pada saat berada di permukaan perairan, unit pengirim sinyal berada di sisi ruang terbuka.

Sinyal mara bahaya yang dipancarkan unit EPIRB berisi antara lain posisi di mana unit terapung, nama kapal, kontak darurat yang dapat dihubungi. Selanjutnya sinyal mara bahaya akan diteruskan kepada otoritas pencarian dan pertolongan yang berwenang di daerah di mana sinyal EPIRB terpancarkan. Berdasarkan keterangan sinyal tersebut, otoritas pencarian dan pertolongan akan menghubungi kontak darurat dan secara simultan mengirimkan sumber daya tim SAR terdekat ke posisi sinyal terpancar.

Berdasarkan pencarian keterangan dari perusahaan, unit EPIRB ini di-*setting* oleh vendor penyedia barang menyesuaikan keterangan yang ada di kapal. Selanjutnya alat tersebut dipasang biasanya di sisi luar anjungan untuk mempermudah operasional. Secara berkala, alat dimaksud diperiksa kondisi baterainya dan dites fungsinya.

Sesuai dengan peraturan Kepala Badan Nasional Pencarian dan Pertolongan, setiap pemilik unit EPIRB harus mendaftarkan unit dimaksud kepada Badan Nasional Pencarian Dan Pertolongan (BNPP), sehingga pada saat sinyal darurat terpancarkan, tim SAR dapat mengetahui secara cepat status sinyal dimaksud. Pendaftaran sinyal ini dapat dilakukan dengan berbagai mekanisme mulai dari pendaftaran manual ataupun secara daring melalui situs BNPP dengan tanpa dipungut biaya.

I.2.6. Temuan terhadap data AIS kapal

AIS berfungsi untuk menyiarkan Informasi kapal secara menerus melalui frekuensi VHF sehingga bisa dijadikan acuan untuk bernavigasi ataupun pemantauan lalu lintas oleh otoritas terkait. Data yang dikirimkan berupa data dinamis dan data statis. Data dinamis berupa pergerakan, posisi kapal didapatkan dari sensor GPS. Data statis kapal berupa Informasi terkait dengan nama kapal, status operasional, pelabuhan asal dan tujuan operasi, nomor identifikasi (IMO No. dan MMSI) maupun keterangan lainnya. Secara umum unit AIS ini diatur sedemikian untuk mendapatkan satu kali inputan data MMSI. Dengan demikian, satu unit AIS sudah terpasang secara permanen khusus untuk kapal yang dipasangi.

Berdasarkan data AIS yang diterima oleh stasiun *vessel traffic services* (VTS) Belawan, nama kapal AVATAR beberapa kali berubah menjadi FLORA 8. Pada saat kapal sandar di dermaga peti kemas Belawan, perubahan terjadi beberapa kali.

I.2.7. Rencana Pelayaran (*Passage Planning*)

Rencana pelayaran memuat serangkaian informasi terkait alur pelayaran yang akan dilalui termasuk pertimbangan-pertimbangan hambatan yang kemungkinan ditemukan. *Avatar* direncanakan akan berlayar dari Pelabuhan Belawan menuju Batam melalui Selat Malaka. Lintasan yang diambil oleh *Avatar* pada alur pelayaran internasional Selat Malaka.



Gambar I-4: Rencana Pelayaran Avatar Dari Belawan Menuju Batam

Berdasarkan posisi pergerakan kapal, area pelayaran ini dilingkupi oleh pengawasan dari stasiun radio pantai (SRPP) Belawan, Dumai, dan Bengkalis.

I.3. MUATAN

I.3.1. Pemuatan di Avatar



Gambar I-5: Peletakan Muatan di Atas Geladak

Kapal *Avatar* membawa peti kemas berisi makanan, sayuran, pakan ternak, telur ayam, tepung dan lain-lain. Peti kemas 20 feet sebanyak 63 unit disusun di dalam ruang muat dan di atas geladak utama dengan rincian 46 peti kemas di dalam ruang muat dan 17 unit di atas geladak utama. Ilustrasi pemuatan peti kemas yang dibawa oleh *Avatar* bisa dilihat pada gambar di atas.

Berat total keseluruhan muatan yang dibawa oleh Avatar adalah 563,224 ton. Dari hasil pemuatan kapal, Nakhoda menyatakan nilai GM adalah 0,85 m. Namun demikian, KNKT tidak mendapatkan perincian perhitungan hasil stabilitas kapal.

I.3.2. Stabilitas kapal pasca pemuatan dan persiapan keberangkatan kapal

Dalam dokumen pengajuan keberangkatan kapal, Nakhoda menuliskan GM kapal sebesar 0,83 m positif. Kondisi sarat kapal ketika berangkat, muka 3,8 m, belakang 4,2 m.

KNKT melakukan analisis stabilitas dengan menggunakan perangkat lunak MAXSURF. Model analisis disusun berdasarkan data yang didapatkan yaitu: rencana garis kapal, buku stabilitas, dan data pemuatan kapal. Hasil analisis stabilitas kapal dengan mengacu pada *Intact stability code* (IS Code) menunjukkan bahwa stabilitas statis kapal dalam kondisi baik. Dari hasil analisis diketahui bahwa kriteria stabilitas sesuai dengan IS Code sebagai berikut:

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
104	A.749(1)	3.2.2: Severe wind and rolling LC 1				Fail	
105		Wind arm: $a P A (h - H) / (g disp.) \cos^n(phi)$					
106		constant: a =	0.9996				
107		wind pressure: P =	300.0	Pa			
108		area centroid height (from zero point): h =	4.913	m			
109		total area: A =	172.82	m ²			
110		H = vert. centre of projected lat. u'water area	1.550	m			
111		cosine power: n =	0				
112		gust ratio	1.5				
113		Area2 integrated to the lesser of					
114		roll back angle from equilibrium (with steady heel arm)	20.0 (-1)	deg	-19.1		
115		Area 1 upper integration range, to the lesser of:					
116		spec. heel angle	50.0	deg	50.0		
117		first downflooding angle	n/a	deg			
118		angle of vanishing stability (with gust heel arm)	78.9	deg			
119		Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of:					
120		angle of max. GZ	38.2	deg	38.2		
121		Select required angle for angle of steady heel ratio:	DeckEd				
122		Criteria:				Fail	
123		Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16.0	deg	0.9	Pass	+94.61
124		Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater tha	80.00	%	863428	Fail	-107928619131
125		Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100.00	%	561.28	Pass	+461.28
126		Intermediate values					
127		Heel arm amplitude		m	0.016		
128		Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0.9		
129		Equilibrium angle with gust heel arm		deg	1.3		
130		Deck edge immersion angle		deg	0.0		
131		Area1 (under GZ), from 1.3 to 50.0 deg.		m.deg	24.002		
132		Area1 (under HA), from 1.3 to 50.0 deg.		m.deg	1.1851		
133		Area1, from 1.3 to 50.0 deg.		m.deg	22.817		
134		Area2 (under GZ), from -19.1 to 1.3 deg.		m.deg	-3.5681		
135		Area2 (under HA) from -19.1 to 1.3 deg.		m.deg	0.4071		

Gambar I-6: Resume Uji Stabilitas Kapal Melalui Perhitungan MAXSURF

Dilihat dari kriteria persyaratan momen angin, status stabilitas kapal tidak memenuhi ketentuan IS Code. Sesuai ketentuan dari IS Code, sudut oleng kapal ketika mendapat tekanan gaya luar sebanding dengan 300 pa², tidak boleh melebihi 10 derajat. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapal mengalami kemiringan

² pascal

I.4. PENGAWAKAN

I.4.1. Awak kapal Avatar

Pada saat kejadian kapal *Avatar* diawaki oleh 15 orang yang terdiri dari 6 perwira dan 9 kelasi (*rating*) yang seluruhnya berkebangsaan Indonesia. Para awak kapal telah memiliki serangkaian sertifikat profisiensi, pelatihan keselamatan seperti halnya *basic safety training, medical training, survival craft and rescue boats*.

Nakhoda memiliki sertifikat Ahli Nautika Tingkat (ANT) IV. KNKT tidak mendapat keterangan berapa lama Nakhoda bergabung dengan *Avatar*. Berdasarkan keterangan dari Perusahaan operator *Avatar*, Nakhoda memiliki pengalaman melaut di berbagai jenis kapal.

Kepala Kamar Mesin (KKM) memiliki sertifikat Ahli Teknik Tingkat (ATT) III yang didapatkan pada tahun 2016. Yang bersangkutan memulai karir sebagai pelaut sejak tahun 1995 sebagai kelasi. KKM bergabung dengan kapal *Avatar* sejak tahun 2014.

Mualim I memiliki sertifikat ANT V yang didapatkan pada tahun 2016. Yang bersangkutan memulai pengalaman berlayar sebagai kelasi pada tahun 2012 di berbagai kapal untuk rute dalam negeri. Mualim I mulai bergabung dengan kapal *Avatar* sejak tahun 2013.

Mualim II memiliki sertifikat ANT V yang didapatkan pada tahun 2014. Yang bersangkutan memulai karir berlayarnya pada tahun 2007 sebagai kelasi dan sejak tahun 2016 bergabung dengan kapal *Avatar*.

I.4.2. Ketentuan pengawakan

Ketentuan pengawakan kapal niaga didasarkan pada peraturan-peraturan berikut:

- Undang-Undang No. 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran Bagian Ketiga Pengawakan Kapal Pasal 135:
 - o Setiap kapal wajib diawaki oleh Awak Kapal yang memenuhi persyaratan kualifikasi dan kompetensi sesuai dengan ketentuan nasional dan internasional.
- Peraturan Pemerintah No. 7 Tahun 2000 tentang Kepelautan.
- Keputusan Menteri Perhubungan No. 70 Tahun 1998 tentang Pengawakan.
- Peraturan Menteri Perhubungan No. 70 Tahun 2013 tentang Pendidikan Dan Pelatihan Sertifikasi Serta Dinas Jaga Pelaut yang diubah melalui Peraturan Menteri Perhubungan No. 140 Tahun 2016.

Sesuai PM 70 Tahun 2013 dan Surat Edaran Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, Direktorat Perkapalan dan Kepelautan Nomor UM.003/5/11/DK-16 tentang Kewenangan jabatan memiliki sertifikasi Ahli Nautika/Teknika (ANT/ATT)-I, II, III, IV, V dan Operator Radio GMDSS *Electro Technical Officer* (ETO) serta *Electro Technical Rating* (ETR), di mana telah memiliki kewenangan jabatan sesuai matrik berikut.

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

Tabel I- 1: Bidang Keahlian Nautika

Ijazah	Jabatan	Kewenangan		Referensi
		GT	Area	
ANT I	Nakhoda	Unlimited		STCW Reg II/2
ANT II	Mualim 1	Unlimited		STCW Reg II/2.1
	Nakhoda	≥3000	NCV	
	Nakhoda	< 3000	Unrestricted	
ANT III	Mualim Jaga	Unlimited		STCW Reg II/1
ANT III Management	Mualim 1	< 3000	Unrestricted	STCW Reg II/1 & Part of Reg. II/2
	Mualim 1	≥3000	NCV	
	Master	< 500	Unrestricted	
	Master	≥3000	Pelayaran Terbatas	
ANT IV	Mualim Jaga	< 500	NCV	STCW Reg II/3.3.
	Mualim Jaga	<3000	NCV	
	Mualim Jaga	>3000	Pelayaran Terbatas	
ANT IV Management	Mualim 1	<3000	NCV	STCW Reg II/3.5.
	Mualim 1	>3000	Pelayaran Terbatas	
	Nakhoda	<500	NCV	

Tabel I- 2: Bidang Keahlian Teknika

Ijazah	Jabatan	Kewenangan		Referensi
		KW	Area	
ATT I	KKM	Unlimited		STCW Reg III/2
ATT II	Masinis 2	Unlimited		STCW Reg III/2 STCW Reg III/3
	KKM	≥3000	NCV	
	KKM	< 3000	Unrestricted	
ATT III	Masinis Jaga	Unlimited		STCW Reg III/1
ATT III Management	Masinis 2	< 3000	Unrestricted	STCW Reg III/1 STCW Reg III/2
	Masinis 2	>3000	NCV	
	KKM	< 3000	NCV	
	KKM	>3000	Pelayaran Terbatas	
ATT IV	Masinis Jaga	< 3000	NCV	STCW Reg III/3.3.
	Masinis Jaga	<3000	Pelayaran Terbatas	
ATT IV Management	Masinis 2	<3000	NCV	STCW Reg III/3.8.
	Masinis 2	>3000	Pelayaran Terbatas	
	KKM	<750	NCV	

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

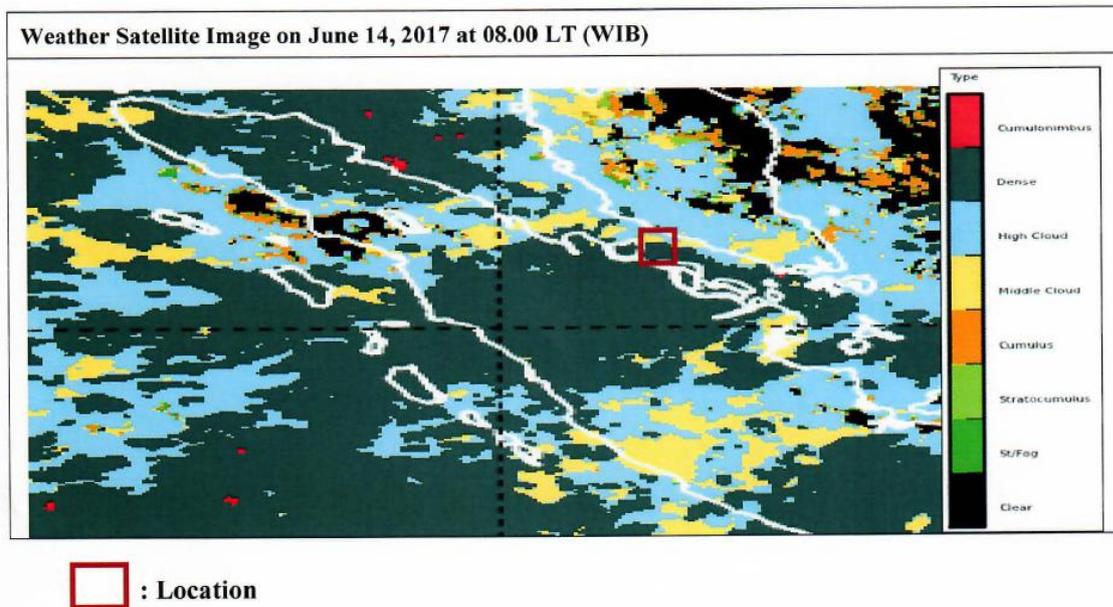
Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

Untuk *Avatar* dengan tonase kotor 678 sesuai ketentuan di atas harus diawasi oleh nakhoda dengan kompetensi ANT II.

I.5. INFORMASI CUACA

Berdasarkan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika (BMKG) lokasi tenggelamnya kapal *Avatar* di perairan Selat Malaka pada titik koordinat 02°02.6871'U/ 102°01.8811 T. Hasil analisis BMKG menunjukkan kondisi cuaca pada saat kapal *Avatar* tenggelam seperti terlihat pada gambar di bawah ini:

- Berdasarkan analisis garis angin pada tanggal 14 Juni 2017 pukul 15.30 WIB hingga pukul 16.00 WIB kecepatan angin 4–15 km/jam atau dalam kategori lemah dari arah tenggara.
- Berdasarkan analisis model gelombang pada waktu yang sama tinggi gelombang di sekitar lokasi tenggelamnya kapal adalah 0,2–0,5 meter atau dalam kategori lemah.
- Kondisi cuaca cerah berawan.



Gambar I-7: Citra Satelit Cuaca Pada Tanggal Kejadian

Dalam pengajuan surat persetujuan berlayar, KSU Belawan menekankan peringatan agar nakhoda memperhatikan kondisi cuaca dan mempertimbangkan untuk menunda atau mencari tempat berlindung jika menemui kondisi cuaca buruk. Nakhoda menerima berita cuaca dengan rentang waktu perkiraan 12 jam untuk wilayah perairan Selat Malaka.

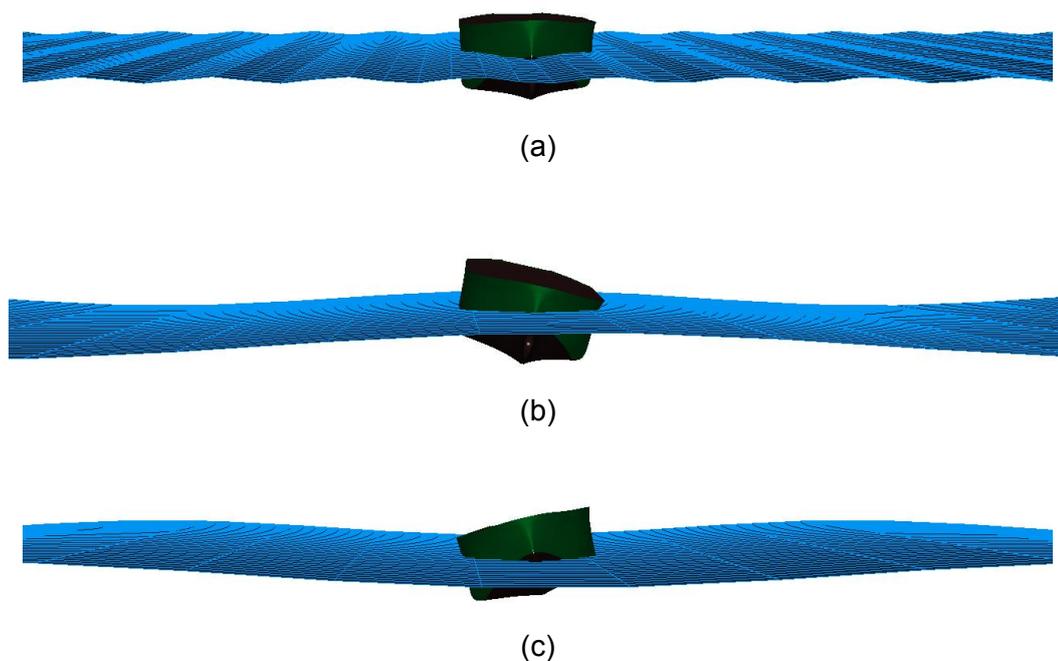
II. ANALISIS

II.1. PROSES TENGGELAMNYA KAPAL

Analisis stabilitas awal kapal menunjukkan bahwa pada saat kapal berangkat GM kapal masih positif dengan nilai yang relatif cukup kecil. Efek dari nilai GM ini seperti halnya periode oleng kapal menjadi lebih lambat. Pada saat kapal mengalami miring, selama nilai GM positif kapal akan dapat kembali tegak. Namun demikian, jika nilai GM ini semakin kecil dapat berakibat pada berkurangnya energi pengembali kapal. Kondisi ini identik dengan yang disampaikan oleh pandu yang membantu kapal keluar dari kolam dermaga Pelabuhan Belawan.

II.1.1. Perhitungan Respons Gerakan Kapal Akibat Gelombang

Perhitungan Respons gerakan kapal *Avatar* akibat gelombang yang terjadi di perairan Selat Malaka dihitung ketika terjadi cuaca buruk yang menyebabkan gelombang tinggi dan menghantam lambung kanan kapal *Avatar* sehingga kapal oleng ke kiri. Kondisi cuaca buruk itu terjadi sekitar pukul 02.30 WIB, secara tiba-tiba cuaca memburuk, angin berubah menjadi kencang dan gelombang laut menjadi tinggi yang disertai dengan hujan, ketinggian gelombang sampai dengan 3 meter. Dikarenakan kapal mengalami guncangan yang kuat membuat awak kapal terjaga. Tidak lama berselang kapal mendapat hempasan gelombang tinggi kembali berakibat kapal miring ke kiri, dan terus disusul gelombang tinggi berikutnya dengan periode yang sangat singkat sehingga menyebabkan kemiringan kapal bertambah besar yang kemudian mengakibatkan kapal terbalik ke kiri. Untuk melihat kondisi fisik respons gerakan kapal *Avatar* terhadap gelombang bisa dilihat pada gambar di bawah ini.

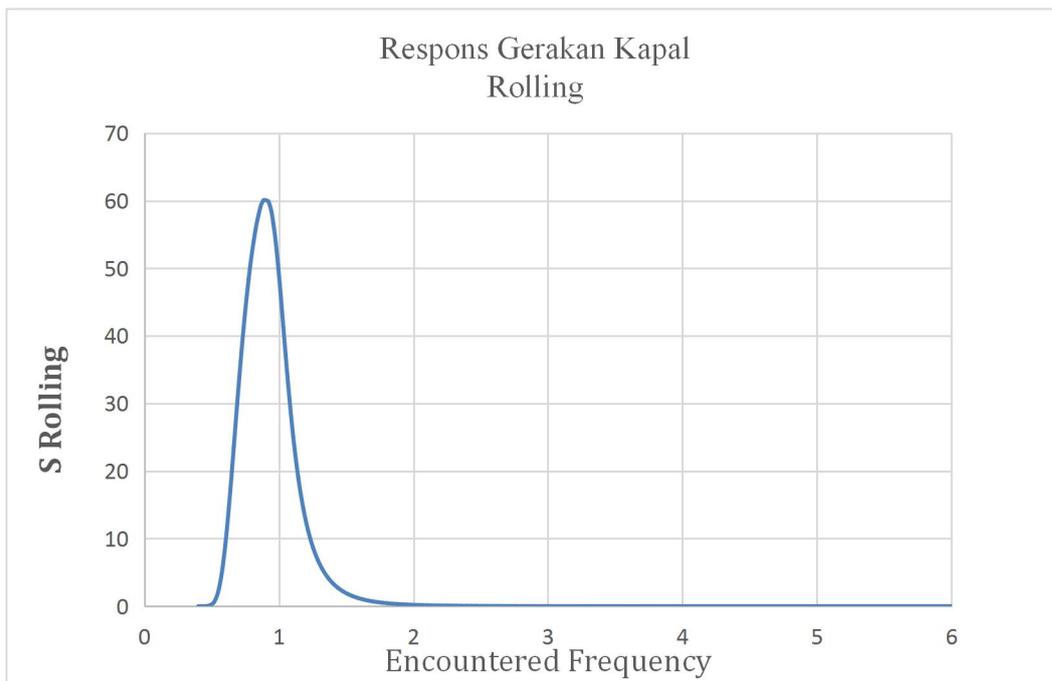


Gambar II- 1: Keadaan kapal akibat gelombang

Keterangan :

- a. Keadaan awal pada saat kapal berlayar pada kondisi cuaca tenang.
- b. Kapal mulai mengalami *rolling* karena menerima gelombang dari kanan lambung.
- c. Kapal *rolling* akibat momen pengembali positif.

Gambar II-1 di atas merupakan simulasi keadaan kapal setelah terkena gelombang dengan tinggi gelombang maksimal 3 meter. Respons gerakan kapal akibat gelombang dapat dinyatakan dalam grafik RAO (*Response Amplitude Operator*) seperti gambar di bawah. Sumbu x menunjukkan frekuensi gelombang dengan satuan *radian/second* dan sumbu respons yang terjadi pada kapal dengan satuan *degree* (derajat).

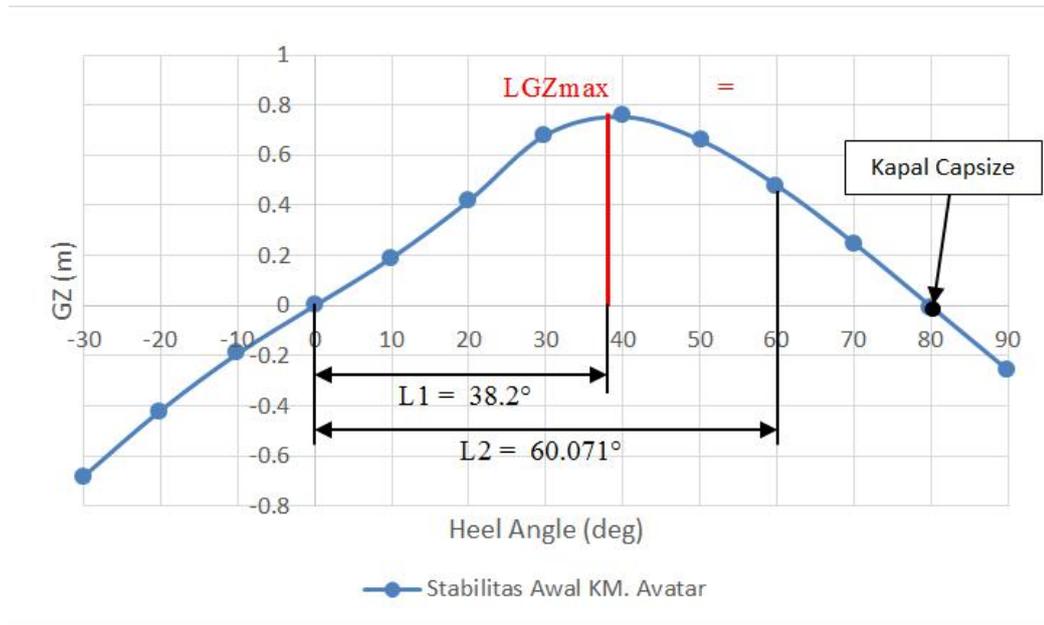


Gambar II-2: Grafik Respons Gerakan Rolling Kapal

Dari grafik di atas didapatkan kemiringan maksimal per frekuensi gelombang. Hasil selengkapnya respons gerakan *rolling* kapal dapat dilihat pada tabel di bab lampiran. Tabel dimaksud menjelaskan besar *rolling* pada kapal setelah kapal menerima besar gelombang setinggi maksimal 3 meter sebesar 60,071 *deg*. Keadaan tersebut terjadi pada frekuensi gelombang 0,885 rad/s. Akibat gelombang tersebut menimbulkan energi gelombang sebesar 88,101 kg sec/m yang menerpa lambung kapal dengan periode waktu 4,165 sec.

II.1.2. Perhitungan Stabilitas Kapal

KNKT melakukan analisis lebih lanjut terkait dengan proses terbaliknya kapal. Sebagaimana disebutkan dalam pembahasan sebelumnya gelombang maksimal 3 meter yang menerpa kapal dari lambung kapal kanan menghasilkan energi sebesar 88,101 kg sec/m. Setelah kapal menerima besar gelombang setinggi maksimal 3 meter menyebabkan kapal *rolling* sebesar 60,071 *deg*.

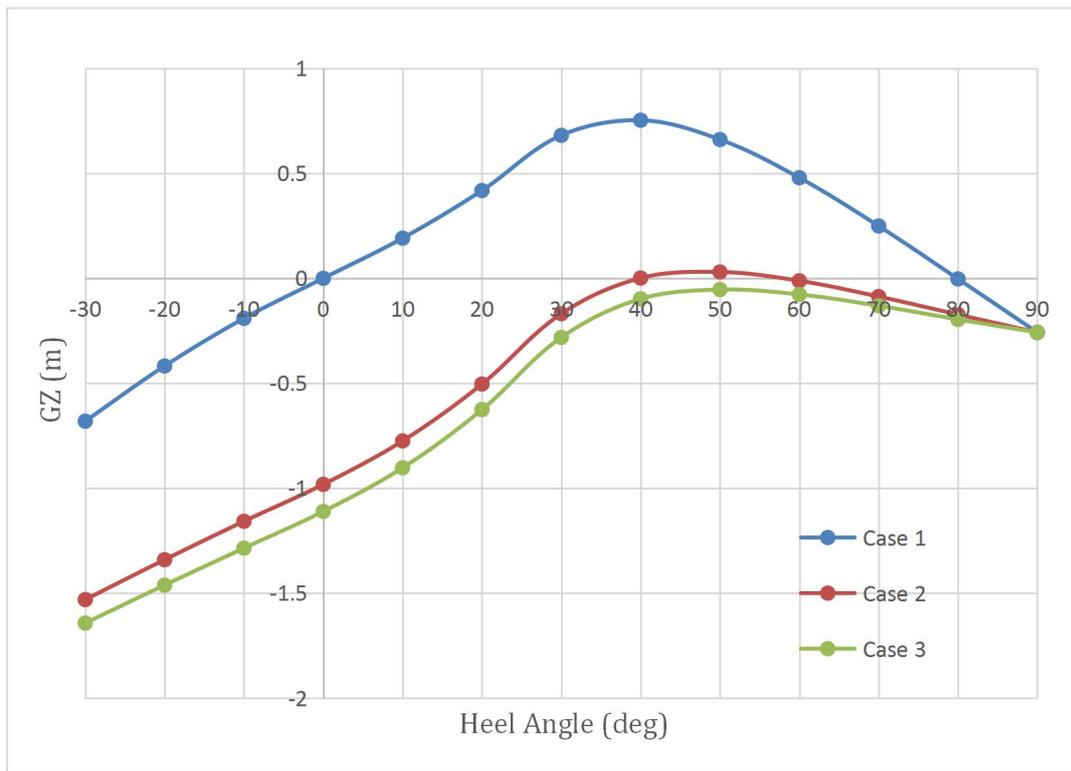


Gambar II-3: Respons dan Stabilitas Kapal Terhadap Angin

Dari gambar di atas bisa dilihat bahwa nilai sudut GZ max sebesar 38.2° (L1) dan RAO pada gelombang 3 meter dengan sudut *rolling* $60,071^\circ$ (L2). Pada saat terjadi *rolling* $60,071^\circ$ keadaan kapal sudah tidak stabil karena lengan GZ positif melewati lengan GZ max sehingga masih memungkinkan kapal untuk bisa kembali ke posisi semula akan tetapi masih perlu gaya pengembali. Karena dihantam oleh gelombang secara terus menerus dalam periode singkat menyebabkan kapal terus menerus oleng sampai mencapai sudut *capsize* kapal 80° , maka setelah kapal oleng melebihi sudut 80° nilai GZ telah negatif sehingga kapal tidak bisa kembali ke posisi semula dan kehilangan momen penegak.

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut di atas, dapat disimpulkan bahwa stabilitas kapal pada saat keberangkatan sudah cukup baik. Namun demikian, momen pengembali dari kondisi pemuatan kapal tidak cukup besar dan tidak mampu untuk menegakkan kapal dalam waktu yang cukup pada saat kapal menghadapi cuaca buruk dengan gelombang yang mencapai 3 meter atau lebih.

Dalam simulasi tenggelamnya kapal *Avatar* di atas diilustrasikan proses tenggelamnya kapal secara fisik, kemudian untuk melihat lebih mudah proses terbaliknya *Avatar* dibuat grafik-grafik perbandingan stabilitas. Perhitungan stabilitas *Avatar* dikondisikan sesuai dengan informasi data yaitu pada saat kapal mulai berangkat dan sampai akhirnya tenggelam. Berikut grafik perbandingan kondisi stabilitas kapal pada saat kondisi air tenang, kondisi badai sampai kapal terbalik dan tenggelam.



Gambar II- 4: Grafik Perbandingan Tinggi GZ

Keterangan:

- Case 1 : Kondisi kapal berangkat dalam cuaca tenang.
- Case 2 : Kondisi kapal berlayar dalam cuaca buruk.
- Case 3 : Kondisi kapal dalam keadaan terbalik (*capsize*).

Dari grafik di atas fase tenggelamnya kapal *Avatar* dimulai dari Case 2 sesuai dengan kronologi kejadian, di mana pada Case 2 kemiringan kapal ke kiri akibat hantaman gelombang dari sisi kanan setinggi 3. Pada Case 3 kapal sudah tidak stabil hal ini karena pada saat dihantam gelombang tinggi kapal oleng melebihi sudut maksimum GZ sehingga kapal tidak bisa kembali ke posisi semula tanpa diberi gaya pengembali. Pada Case 3 ini kapal telah dinyatakan terbalik dan mulai tenggelam.

Dari hasil analisis stabilitas dapat dilihat bahwa kemiringan kapal secara spontan karena dihantam ombak tinggi dan tidak lama berselang kapal mendapat hempasan gelombang tinggi kembali berakibat kapal miring ke kiri, dan terus disusul gelombang tinggi berikutnya dengan periode yang sangat singkat yaitu sekitar 4,165 detik sehingga menyebabkan kemiringan kapal bertambah besar sampai sudut 60°. Pada saat kapal mencapai sudut 60° kapal sudah tidak stabil dengan nilai lengan GZ 0,031 m. Hantaman gelombang tinggi dalam periode yang singkat kapal semakin menyebabkan kapal kehilangan momen pengembali sehingga terbalik (*capsize*) pada sudut 80°. Selanjutnya tidak lama setelah kapal terbalik kapal tenggelam karena kehilangan daya apung.

II.2. PENGAWASAN PEMUATAN DAN PERHITUNGAN STABILITAS

Dari hasil perhitungan stabilitas di atas diketahui bahwa stabilitas kapal tidak cocok dengan kondisi cuaca yang terjadi pada saat kecelakaan. Cuaca yang cukup buruk menyebabkan

penurunan stabilitas secara signifikan sehingga lengan stabilitas kapal menjadi negatif. Stabilitas awal kapal diketahui sudah cukup untuk dapat mempertahankan posisi kapal pada saat cuaca tenang.

Kondisi ini diketahui oleh semua pihak terkait dengan operasional pada saat kapal berangkat. Berdasarkan keterangan dari petugas pandu, diketahui respons olengan kapal sedikit melambat. Hal demikian sesuai dengan kajian analisis kapal di atas menunjukkan energi pengembali kapal yang relatif kecil yang disebabkan dari pendeknya lengan stabilitas kapal atau tinggi metasentra ke titik G yang kecil.

Kondisi tersebut di atas paling dominan disebabkan oleh penataan muatan yang disusun sedemikian rupa sehingga menyebabkan titik G kapal mendekati M. Meskipun nilai stabilitas kapal menunjukkan kondisi positif, pada kenyataannya kondisi demikian tidak dapat berlaku untuk semua cuaca. Cuaca yang terjadi pada saat *Avatar* melintas di lokasi kecelakaan memberikan efek penurunan stabilitas kapal secara signifikan. Sekiranya nilai stabilitas kapal lebih tinggi, besar kemungkinan kapal masih dapat merespons secara aman cuaca yang dilalui.

Perhitungan stabilitas awal kapal dilakukan oleh perwira kapal yang bersangkutan. Namun demikian, nilai yang keluar dari hasil perhitungan ini tidak dilakukan pendalaman lebih lanjut terhadap implikasinya ketika kapal berlayar dengan kondisi cuaca perairan yang berbeda-beda.

II.3. PENGAWAKAN

Berdasarkan ketentuan dari peraturan pengawakan, kapal dengan ukuran tertentu dan berlayar di perairan tertentu harus diawasi oleh serangkaian susunan awak kapal yang memenuhi standar kompetensi. Hal ini ditujukan untuk kapal dapat dioperasikan oleh pelaut dengan tingkat kemampuan yang memadai sehingga kapal dapat tetap dioperasikan secara aman.

Mualim I kapal *Avatar* sebagai perwira kapal yang bertanggung jawab terhadap pemuatan memiliki sertifikat ANT V. Hal ini tidak sesuai dengan ketentuan pengawakan sebagaimana yang disebutkan dalam ketentuan pengawakan yang mana paling tidak mualim I *Avatar* harus diawasi oleh pelaut nautika dengan tingkat kecakapan paling tidak ANT-IV.

Pengaturan muatan secara baik dan benar di kapal merupakan hal yang utama untuk diperhatikan oleh perwira yang bertanggung jawab terhadap pemuatan. Keselamatan kapal dapat terancam jika penataan muatan tidak memenuhi kaidah keselamatan maupun kemampuan teknis kapalnya.

Secara umum di kapal, pengaturan muatan merupakan tanggung jawab mualim I. Mualim I harus dapat mengetahui seluruh aspek teknis yang berupa kondisi muatan, kondisi paking, jenis, berat dan batasan-batasan pemuatannya. Dalam kaitannya dengan stabilitas kapal mualim I harus dapat menempatkan muatan sedemikian rupa sehingga mendapatkan stabilitas kapal yang baik. Kapal tidak mengalami kelebihan sarat yang ditentukan dan trim kapal tidak mempengaruhi operasional kapal dari pelabuhan keberangkatan sampai dengan tujuan. Terkait dengan hal tersebut, mualim I suatu kapal dituntut untuk mengetahui konsep dasar pengetahuan stabilitas kapal berikut hal-hal yang berkaitan dengan stabilitas dimaksud. Mualim I juga harus mempunyai pengetahuan yang cukup terhadap batasan teknis kapalnya. Dengan diketahuinya kondisi muatan baik dari jumlah dan beratnya mualim I dapat

menentukan pada posisi mana dan penempatan muatan yang bagaimana sehingga didapatkan kondisi stabilitas sesuai batasan teknisnya.

II.4. SINYAL MARA BAHAYA

Penyampaian berita mara bahaya melalui seluruh media yang ada di kapal tidak sempat dilakukan. Berdasarkan keterangan dari awak kapal hal ini terjadi karena waktu yang terbatas. Sinyal darurat secara otomatis juga tidak dapat disebarkan. Sesuai keterangan dari BNPP, tidak ada kantor MCC di wilayah Asia Pasifik bagian selatan menerima sinyal darurat dari kapal mana pun pada saat jam kejadian.

Sejatinya kapal *Avatar* mempunyai EPIRB, tetapi besar kemungkinan tidak berfungsi. EPIRB seharusnya dapat bekerja teraktivasi secara otomatis pada saat unit EPIRB terkena air. Selanjutnya EPIRB harus dapat muncul ke permukaan untuk mengirimkan sinyal darurat. Unit EPIRB akan muncul dipermukaan dan memancarkan sinyal darurat dengan ekspektasi akurasi 100 m sampai dengan 150 meter dari lokasi EPIRB sebenarnya. Sinyal EPIRB yang melalui frekuensi 406 MHz seharusnya dengan mudah terpancarkan karena EPIRB mempunyai dukungan baterai yang cukup untuk mengirimkan sinyal sampai dengan 48 jam berikutnya. Kantor MCC terkait akan dapat dengan mudah menangkap sinyal darurat tersebut dan segera melakukan operasi pencarian dan pertolongan. Pemeriksaan terhadap EPIRB kapal menunjukkan bahwa mekanisme HRU masih dalam lingkup masa kerja begitu juga dengan baterainya. Beberapa kemungkinan yang lain adalah unit EPIRB kapal tidak terpasang di tempat yang seharusnya yaitu di titik terbuka yang sudah ditentukan sebelumnya. Hal ini dapat memberikan keleluasaan bagi unit EPIRB untuk terlepas ke permukaan begitu kapal tenggelam. Dalam kemungkinan yang lain, dimungkinkan ada permasalahan di HRU sehingga unit EPIRB tidak terlepas ketika tenggelam.

Cukup beruntung bagi awak kapal *Avatar* ditemukan oleh kapal lain yang sedang berlayar di sekitar lokasi kejadian. EPIRB di kapal seharusnya berfungsi dengan baik sehingga dapat mengirimkan berita mara bahaya secara tepat dan membantu proses pencarian dan pertolongan. Untuk itu perlu dilakukan pemeriksaan secara rutin oleh awak kapal di setiap keberangkatan kapal terkait kesiapan unit EPIRB. Berdasarkan pemeriksaan terhadap unit EPIRB kapal, BNPP menyampaikan bahwa unit tersebut tidak didaftarkan. Hal ini berpotensi untuk memperlambat proses pencarian dan pertolongan.

Temuan KNKT terkait dengan identifikasi kapal yaitu berubahnya data kapal yang dipancarkan oleh unit AIS. Sesuai ketentuan unit AIS hanya terdaftar untuk satu nomor MMSI. Data statis AIS lainnya dapat diubah menyesuaikan kondisi atau situasi kapal. Data AIS *Avatar* secara konstan berubah-ubah mengindikasikan adanya ketidaksesuaian dari input data yang ada.

Kedua peralatan tersebut memiliki peran yang penting ketika kapal mengalami kondisi darurat. Fungsi dan kondisi harus tetap dipertahankan dengan baik sesuai standar instalasi dan operasional yang berlaku. Pemeriksaan secara internal maupun eksternal harus dilaksanakan secara rutin. Selain itu, harus dapat dipastikan bahwa EPIRB kapal telah terdaftar di BNPP sehingga memudahkan untuk melakukan identifikasi pada saat kapal mengalami kondisi mara bahaya.

II.5. DISTRIBUSI BERITA CUACA

Prakiraan berita cuaca dijadikan sebagai salah satu acuan dalam menentukan pola pelayaran kapal. Dengan mengetahui potensi bahaya cuaca di perairan yang akan dilalui, perwira kapal sekiranya akan melakukan perubahan perjalanan sehingga kapal akan dapat dihindarkan dari wilayah dimaksud. Pada saat *Avatar* memulai perjalanan, diperkirakan cuaca di rute pelayaran yang akan dilewati masih cukup mendukung. Namun demikian, cuaca yang masuk ke kategori lemah sesuai dengan analisis prakiraan BMKG, justru membuat *Avatar* mengalami masalah stabilitas. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kondisi gelombang yang terjadi telah menurunkan stabilitas kapal secara drastis, sehingga kapal tidak sempat lagi untuk berada dalam posisi tegak. Antisipasi terhadap perubahan cuaca juga menjadi aspek kemampuan penilaian awak kapal yang selanjutnya dikaitkan dengan kondisi teknis kapal itu sendiri. Keterangan awak kapal yang menyatakan adanya gelombang hingga dengan 3 meter, kurang sesuai dengan data analisis cuaca BMKG. Terdapat kemungkinan terjadi perubahan cuaca lokal yang mendadak dalam waktu relatif singkat dan tidak terdeteksi oleh stasiun cuaca. Perubahan cuaca mendadak secara singkat yang diikuti dengan peningkatan kecepatan angin biasa disebut dengan *Squall*.

Informasi perubahan cuaca mendadak dapat dilakukan oleh stasiun meteorologi maritim dengan menerbitkan peringatan berita cuaca. Dari aspek operasi pelayaran, distribusi berita cuaca dapat melalui radio pantai yang selanjutnya diteruskan ke seluruh kapal-kapal yang dijangkau melalui frekuensi radio yang ditetapkan.

BMKG harus dapat mendeteksi adanya perubahan cuaca lokal yang bisa berdampak pada pelayaran. Selanjutnya, informasi terkait perubahan cuaca ini harus dapat didistribusikan secara cepat kepada operator pelayaran dengan melalui potensi-potensi media distribusi informasi yang ada seperti halnya radio pantai.

Wilayah di mana *Avatar* tenggelam diliput oleh Stasiun GMDSS dan Radio Pantai yaitu Radio Pantai Bengkalis, Radio Pantai Dumai dan Radio Pantai Kuala Tanjung. Ketiga radio pantai ini merupakan bagian dari tiga radio pantai lainnya yang meliputi wilayah perairan Selat Malaka. Distribusi berita cuaca berikut peringatan dini dapat disebarluaskan secara efektif ke kapal-kapal yang berlayar melalui radio pantai tersebut melalui mekanisme frekuensi radio yang diterima oleh perangkat elektronik seperti contohnya NAVTEX dan GMDSS MSI (*maritime safety information*).

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

III. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap Informasi faktual dan kajian teknis, tenggelamnya *Avatar* di perairan Selat Malaka pada tanggal 14 Juni 2017 disebabkan karena kurangnya kemampuan kapal untuk bertahan terhadap perubahan cuaca buruk secara mendadak. Kondisi stabilitas kapal tidak cukup baik untuk mendukung kapal berlayar di kondisi cuaca dengan gelombang 3 meter. Energi gelombang yang beruntun dari kondisi cuaca dimaksud tidak dapat diatasi oleh energi penegak kapal sehingga kapal terus miring dan tenggelam.

III.1. TEMUAN

1. Stabilitas dalam kondisi GM positif. Struktur kapal tidak ada indikasi mengalami kerusakan.
2. Kompetensi Mualim I tidak sesuai dengan peraturan pengawakan yang berlaku.
3. EPIRB kapal tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya sehingga berita mara bahaya tidak diketahui oleh otoritas pencarian dan pertolongan.
4. AIS kapal menunjukkan anomali data sehingga dapat menimbulkan kebingungan identifikasi kapal.

III.2. FAKTOR YANG BERKONTRIBUSI

1. Tidak adanya peringatan cuaca yang sampai ke kapal sehingga kapal tidak menyadari adanya potensi cuaca buruk di lintasan yang akan dilaluinya.
2. Cuaca di lokasi kecelakaan diperkirakan berubah buruk secara cepat sehingga menyebabkan gangguan stabilitas yang signifikan.

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

IV. TINDAKAN KESELAMATAN

Selama proses penyusunan laporan akhir ini KNKT tidak menerima tindakan keselamatan yang dilakukan pihak-pihak terkait.

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

V. REKOMENDASI

Dari hasil analisis dan kesimpulan di atas, KNKT merekomendasikan hal-hal berikut untuk mencegah terjadinya kejadian yang serupa di masa mendatang. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 62 Tahun 2013 tentang Investigasi Kecelakaan Transportasi, Pasal 47 ayat 1 (satu) menyatakan bahwa pihak terkait wajib menindaklanjuti rekomendasi keselamatan yang tercantum dalam laporan akhir investigasi kecelakaan transportasi. Selanjutnya pada ayat 2 (dua) dinyatakan bahwa setiap pihak yang diberi rekomendasi wajib melaporkan perkembangan tindak lanjut rekomendasi kepada Ketua KNKT.

V.1. BMKG

1. Meningkatkan kemampuan deteksi perubahan cuaca dini secara lokal.
2. Bekerja sama dengan otoritas terkait untuk meningkatkan distribusi dan penyiaran peringatan dini cuaca atau perubahan cuaca signifikan kepada kapal melalui radio pantai GMDSS.

Sampai dengan diterbitkannya laporan final investigasi kecelakaan ini, KNKT tidak mendapatkan masukan atau tanggapan terhadap rekomendasi dimaksud.

Status: Open

V.2. DIREKTORAT JENDERAL PERHUBUNGAN LAUT

1. Memasukkan ketentuan dalam pemeriksaan NTR bahwa unit EPIRB yang terpasang di kapal telah terdaftar di BNPP sebelum sertifikat diterbitkan.
2. Mengkaji ulang prosedur pemeriksaan terhadap registrasi unit AIS kapal harus sesuai dengan data yang ter-input di unit dimaksud.
3. Bekerja sama dengan BMKG untuk meningkatkan alur distribusi berita cuaca berikut peringatan dini melalui radio pantai stasiun GMDSS untuk disebarluaskan ke kapal.

Sampai dengan diterbitkannya laporan final investigasi kecelakaan ini, KNKT tidak mendapatkan masukan atau tanggapan terhadap rekomendasi dimaksud.

Status: Open

V.3. KESYAHBANDARAN UTAMA BELAWAN

1. Meningkatkan pengawasan terhadap penerbitan SPB terutama terkait dengan siji awak kapal untuk menyesuaikan dengan peraturan yang berlaku.

Sampai dengan diterbitkannya laporan final investigasi kecelakaan ini, KNKT tidak mendapatkan masukan atau tanggapan terhadap rekomendasi dimaksud.

Status: Open

V.4. PT PELAYARAN SYANDI ARUNG SAMUDERA

1. Memastikan unit EPIRB kapal dipasang dan berfungsi sesuai ketentuan yang berlaku.
2. Memenuhi ketentuan registrasi unit EPIRB kapal.
3. Menempatkan awak kapal dengan kualifikasi yang sesuai dengan ketentuan pengawakan.

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

4. Memastikan data yang diinput di unit AIS kapal sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Sampai dengan diterbitkannya laporan final investigasi kecelakaan ini, KNKT tidak mendapatkan masukan atau tanggapan terhadap rekomendasi dimaksud.

Status: Open

SUMBER INFORMASI

Kantor Kesyahbandaran Utama Belawan

Kantor Pelabuhan Kelas I Batam

Kantor Distrik Navigasi Kelas I Belawan

Badan Nasional Pencarian dan Pertolongan

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

Stasiun VTS Klang

PT Pelabuhan Indonesia I (Persero) Cabang Belawan

Awak Kapal *Avatar*

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

LAMPIRAN

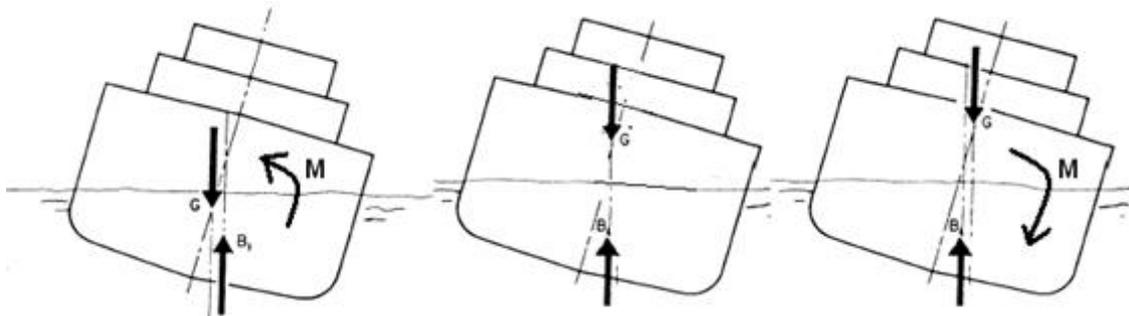
ANALISIS STABILITAS

Intact Stability

Ketika kapal berlayar harus dalam kondisi yang aman dan lengkap peralatan keselamatannya, hal ini untuk mengurangi resiko kecelakaan di laut. *Intact stability* merupakan persyaratan mutlak yang harus dipenuhi oleh suatu kapal ketika akan berlayar. IMO mengatur persyaratan stabilitas kapal utuh dalam *Intact stability Code* (2008).

Stabilitas Benda Terapung

Sesuai dengan hukum Archimedes pada saat kapal mengapung di air tenang maka gaya berat kapal yang arahnya kebawah sama dengan gaya *buoyancy* (B) yang arahnya keatas. Selain itu ketika kapal berlayar akan mengalami salah satu dari tiga kondisi stabilitas yang ilustrasinya dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 1: Stabilitas Benda Terapung

Ketika kapal terekspose oleh suatu gaya dari luar maka kapal akan oleng dan setelah gaya tersebut hilang akan menimbulkan momen kopel yang menyebabkan kapal kembali ke kedudukan semula, tetap diam atau terbalik. Pada saat kapal oleng gaya G dan gaya B tidak sejajar³, letak titik G tidak berubah sedangkan titik B berpindah.

Pada Gambar (a) kiri terlihat bahwa gaya berat G berada disebelah kiri gaya angkat B sehingga terjadilah momen kopel berlawanan jarum jam sehingga kapal kembali keposisi semula disebut pula sebagai stabil. Sedangkan pada Gambar b) tengah terlihat ketika kapal oleng gaya berat G sejajar dengan gaya angkat B dimana kapal tidak mempunyai momen kopel pengembali inilah yang dinamakan *indefern*.

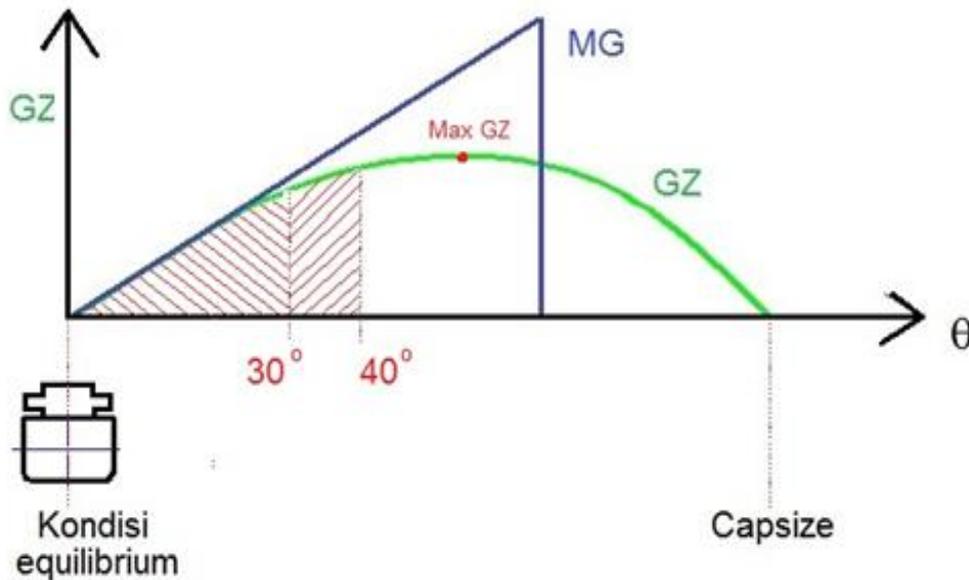
Gambar (c) sebelah kanan menunjukkan bahwa gaya G berada dibelah kanan gaya B sehingga menimbulkan momen kopel searah jarum jam akibatnya kapal akan oleng searah jarum jam, inilah yang dinamakan labil. Pada saat kapal mengalami oleng maka besarnya gaya buoyancy awal dan akhir sama.

Intact Stability Criteria

Dengan menggunakan lengan stabilitas bentuk / tinggi metasenter ke bouyancy (MB) lambung kapal dibawah garis air dan tinggi keel ke pusat gravity (KG) maka didapatkan

³Semenov-Ti[́] a[́] n-Shanski[́], *Statics and Dynamics of the Ship: Theory of Buoyancy, Stability, and Launching*.

lengan stabilitas penegak kapal (GZ), lengan ini dapat dihitung tiap sudut yang dapat dihubungkan menjadi kurva hijau seperti Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Intact Stability Criteria

Kapal dikatakan stabil tidak hanya mempunyai lengan stabilitas positif, akan tetapi harus dibandingkan dengan IMO's *Intact Stability Criteria* sebagai berikut⁴:

- Luas kurva lengan penegak GZ tidak boleh kurang dari 0.055 meter.radian sampai sudut oleng $\theta = 30^\circ$, tidak kurang dari 0.09 meter.radian sampai sudut oleng $\theta = 40^\circ$ atau sudut air masuk θ_f jika sudut ini kurang dari 40° .
- Selain itu luas kurva lengan penegak GZ antara sudut oleng 30° dan 40° atau sudut air masuk θ_f jika sudut ini kurang dari 40° , tidak boleh kurang dari 0.03 meter.radian.
- Tinggi lengan penegak GZ harus paling sedikit 0.2 meter pada sudut oleng 30° atau lebih
- Lengan penegak maksimum sebaiknya terjadi pada sudut oleng tidak kurang dari 25° . Jika ini tidak praktis, kriteria lain yang berdasarkan tingkat keselamatan yang setara boleh diterapkan dengan persetujuan Administration
- Tinggi metasenter awal GM0 tidak boleh kurang dari 0.15 meter.

Wind Stability Criteria

Kemampuan kapal untuk bertahan dari efek kombinasi angin dan *rolling* harus didemonstrasikan pada masing-masing kondisinya, sesuai dengan standar kondisi pembebanan.

- kapal yang terkena tekanan *steady wind* bereaksi terhadap tegak lurus dari *centerline* yang mengakibatkan *Steady wind heeling level* ($1w_1$)
- Dari resultan sudut equilibrium (θ_0), kapal diasumsikan *rolling* akibat ombak ke sudut roll (θ_1) kemana angin berhembus. Untuk itu perlu diperhatikan efek angin yang *steady* sehingga resultan dari sudut oleng yang berlebihan dapat dihindari.

⁴Instruments, *International Code on Intact stability*.

- Kapal yang terkena *gust wind pressure* berakibat tuas kecenderungan hembusan angin (*gust wind heeling lever*) (lw_2)
- Pada kondisi ini, luas area "b" harus sama atau lebih besar dari area "a"
- Efek permukaan bebas harus dihitung sesuai standar kondisi yang ada.

Sudut sudut yang ada pada gambar didefinisikan sebagai berikut;

θ_0 = *angle of heel* akibat *Steady wind*

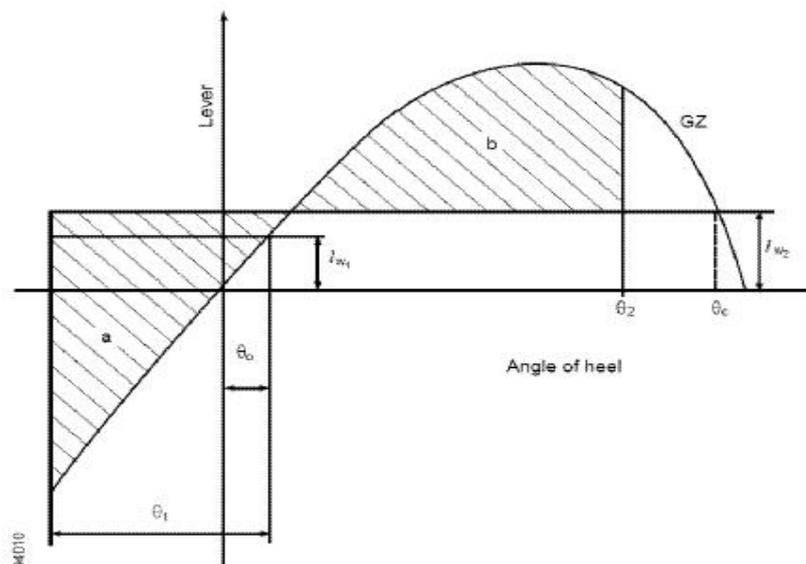
θ_1 = sudut oleng ke arah hembusan angin akibat adanya gelombang

θ_2 = sudut *downflooding* (θ_f) or 50° or θ_c , diambil yang paling kecil

dimana:

θ_f = *down offloading* pada bukaan di lambung kapal, *superstructure* atau rumah geladak yang tidak dapat ditutup dari cuaca luar, pada pengaplikasian kriteria ini, bukaan kecil dimana *progressive flooding* tidak dapat dilewati maka ini tidak dianggap sebagai bukaan.

θ_c = sudut perpotongan kedua antara *wind heeling lever* lw_2 dan kurva GZ.



Gambar 3. Kurva Momen Angin Dan Rolling

DAMAGE STABILITY

Damage stability yaitu sebuah perhitungan yang menggabungkan kebocoran dan stabilitas. Terdapat dua metode yang dapat digunakan dalam perhitungan kesetimbangan akhir pada kondisi kebocoran (Rawson & Tupper, 2001)

Trim Line Added Weight Method

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 mengalami kebocoran.

Metode ini tepat digunakan untuk kasus kebocoran yang kompleks yang mengakibatkan suatu keadaan yang cukup ekstrim bagi kapal, seperti kombinasi kompartemen yang bocor serta *trim* dan *heel* yang diakibatkannya.

Lost Buoyancy Method

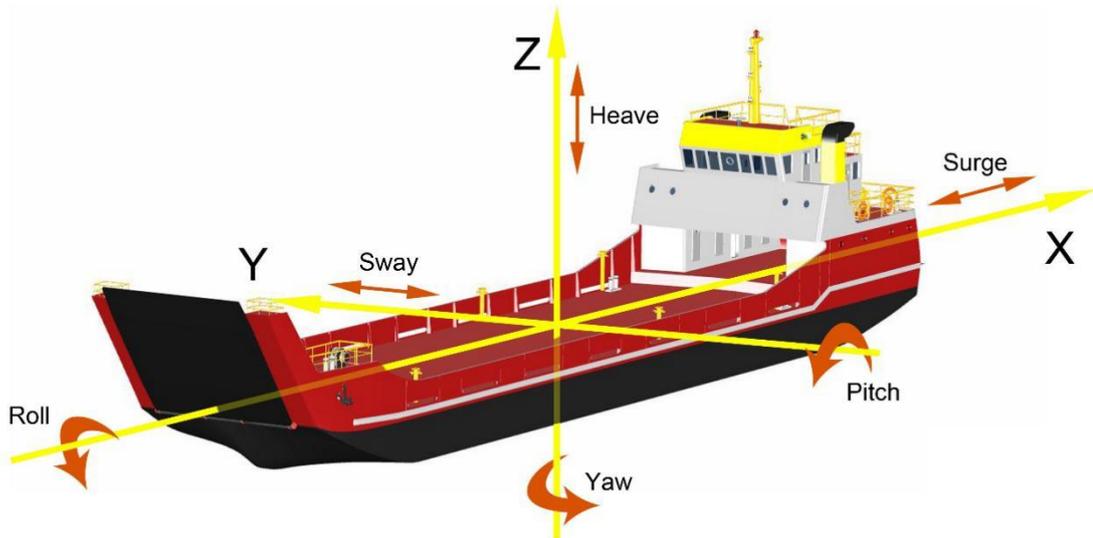
Prinsip dari metode perhitungan ini adalah bahwa ketika kapal mengalami kebocoran maka ruangan yang kemasukan air tersebut sudah tidak dianggap sebagai bagian dari kapal lagi. Akibat bagian kapal yang berkurang, maka besar *buoyancy* atau gaya tekan ke atas juga berkurang. Dengan berkurangnya *buoyancy* ini, maka kapal akan mengalami *sinkage* yang menyebabkan sarat kapal akan bertambah.

Pada perhitungan dengan menggunakan metode *lost buoyancy*, *displacement*, volume *displacement*, dan KG kapal tidak berubah. Perubahan hanya terjadi pada bentuk dan distribusi volume *buoyancy* kapal karena adanya volume *buoyancy* yang hilang (*lost buoyancy*). Oleh karena itu *lost buoyancy* dikenal dengan *constant displacement method* (Rawson & Tupper, 2001)

Gerakan Struktur Pada Gelombang

Seakeeping adalah gerakan kapal yang dipengaruhi oleh gaya-gaya luar yang disebabkan oleh kondisi air laut. Setiap kapal memiliki karakteristik gerakan berbeda ketika memperoleh gaya dari gelombang, bergantung pada faktor bentuk lambung, letak titik berat dan faktor lainnya. Gerakan kapal sendiri dibagi menjadi 6 macam berdasarkan sumbu geraknya yakni 3 gerak translasi dan 3 gerak rotasi. (Bhattacharyya, 1978) yaitu :

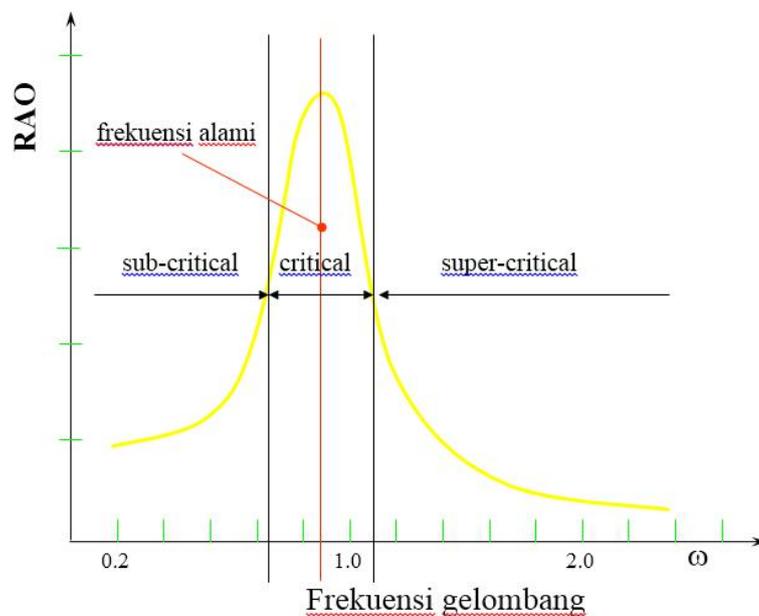
- *Surging* adalah gerakan translasi sepanjang sumbu X.
- *Rolling* adalah gerakan kapal yang memutar sumbu X.
- *Swaying* adalah gerakan translasi kapal yang terjadi ketika kapal bergerak sepanjang sumbu Y.
- *Pitching* adalah gerakan kapal yang memutar sumbu Y.
- *Heaving* adalah gerakan kapal yang sepanjang sumbu Z.
- *Yawing* adalah gerakan kapal memutar sumbu Z.



Gambar 4: Gerakan 6 Derajat Kebebasan Kapal

Gerakan suatu struktur pada gelombang disebut sebagai *Response Amplitude Operator* (RAO). RAO merupakan fungsi amplitudo struktur yang bergerak di gelombang regular per unit amplitudo gelombang. Oleh karena itu, RAO akan berbeda untuk tiap jenis gerakan. Respons gerakan kapal disebabkan karena adanya gaya dari luar yaitu gaya dari gelombang. Gaya dari luar ini yang menyebabkan kapal mengalami gerakan tertentu.

Gerakan suatu struktur pada gelombang regular disebut sebagai *Response Amplitude Operator* (RAO). RAO merupakan fungsi amplitudo struktur yang bergerak di gelombang regular per unit amplitudo gelombang. Oleh karena itu, RAO akan berbeda untuk tiap jenis gerakan. RAO dapat diperoleh dari tes model pada *towing tank*, perhitungan analitis, maupun simulasi dengan perangkat lunak. (Djarmiko, 2012)

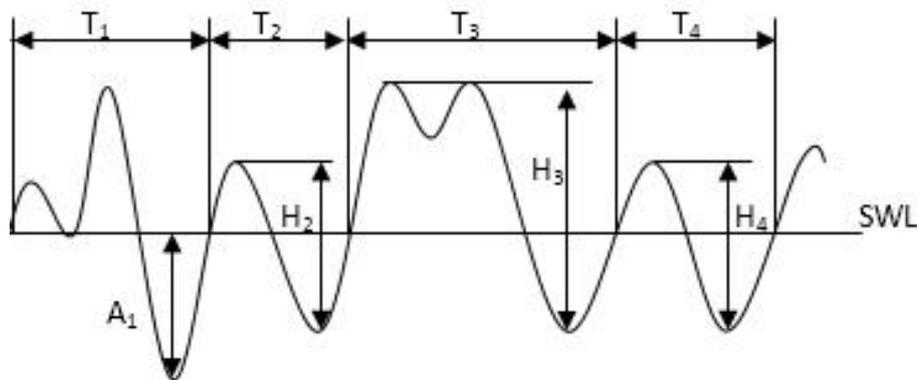


Gambar 5: Respons RAO Gelombang

Dari nilai RAO diatas juga digunakan untuk mentransformasikan beban gelombang menjadi Respons struktur.

Gelombang Irregular

Gelombang irregular adalah gelombang acak yang terjadi akibat penjumlahan dari banyak gelombang yang memiliki frekuensi, tinggi dan fase gelombang yang berbeda-beda. Mempelajari perilaku gelombang laut yang mempunyai gerakan tidak konstan tersebut perlu menggunakan pendekatan statistik, yang mana pendekatan ini dapat mewakili keadaan sebenarnya. Pendekatan statistic yang digunakan bisa menggunakan formula Joswap, ITTC dan sebagainya. (Bhattacharyya, 1978) Gelombang irregular ditunjukkan pada Gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6: Gelombang Irregular

Gelombang *irregular* disini diasumsikan berasal dari penjumlahan gelombang-gelombang reguler yang memiliki frekuensi, tinggi dan fase gelombang yang berbeda-beda. Tiap komponen gelombang dapat ditransformasikan menjadi komponen dari suatu jenis gerakan dengan mengalikan spektrum gelombang dengan RAO gerakan tertentu yang ingin dihitung. Spektrum gelombang (ω_w). diubah menjadi spektrum gelombang *encountered* (ω_e) dengan formula sebagai berikut :

$$\omega_e = \omega_w \left(1 - \frac{\omega_w V}{g} \cos \mu\right)$$

Dimana :

ω_e : frekuensi *encountered*

ω_w : frekuensi gelombang

g : percepatan gravitasi

V : kecepatan kapal

μ : *heading angle* kapal.

Spektrum Gelombang.

Dalam perancangan struktur bangunan apung, idealnya informasi karakteristik gelombang untuk lingkungan dimana strukturakan dioperasikan harus lengkap tersedia. Meskipun demikian, belum semua daerah lautan di dunia dilakukan observasi gelombangnya. Untuk

kebutuhan perancangan maka spectra gelombang dari lokasi lain dengan kondisi yang mirip biasanya diambil. Bila informasi inipun tidak tersedia maka dapat dipakai formula spectra gelombang. Salah satunya yaitu formulasi ITTC formulasi tersebut memberikan persamaan *spectrum energy* gelombang sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan, $H_{1/3}$, dan frekuensi karakteristik. *International Towing Tank Conference (ITTC)* merupakan penelitian mengenai standart *spectrum* gelombang. (Bhattacharyya, 1978)

Formula spektrum gelombang ITTC adalah sebagai berikut:

$$S(\omega_e) = \left(\frac{A}{\omega_e^5}\right) e^{\frac{-B}{\omega_e^4}}$$

Dimana

ω_e : Frekuensi gelombang (rad/sec)

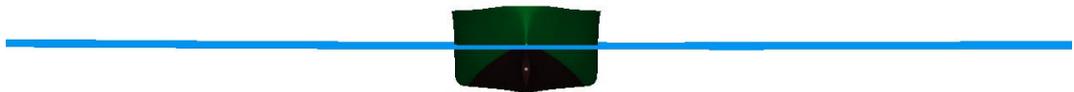
A : $8.10 \times 10^{-3}g^2$

B ; $3.11 \times 10^4/(H)^{2_{1/3}}$

Simulasi Tenggelamnya Kapal KM. Avatar

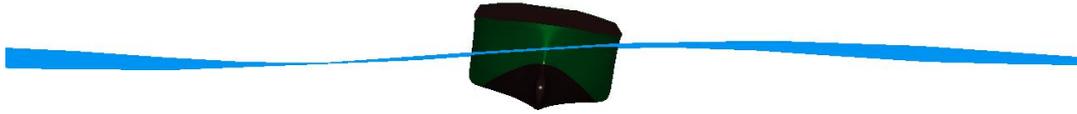
Dari hasil perhitungan secara teknis berupa Respons gerakan rolling kapal karena gelombang dan stabilitas kapal KM. *Avatar* serta merujuk pada kronologi kejadian terbaliknya kapal KM. *Avatar* yang didapat dari KNKT maka dapat disimulasikan tenggelamnya kapal KM. *Avatar* sebagai berikut:

1. Kapal KM. *Avatar* berangkat dari dermaga gudang 201 pelabuhan Belawan dengan tujuan Batam dengan membawa muatan barang dalam peti kemas diletakkan di main deck dan dalam ruang muat. Keadaan cuaca pada saat itu laut tenang (*smooth sea*) , angin bertiup dari Selatan dengan kekuatan kurang dari 10 knot serta jarak pandang baik. Kondisi kapal berangkat dapat dilihat pada Gambar 7 **Error! Reference source not found.**



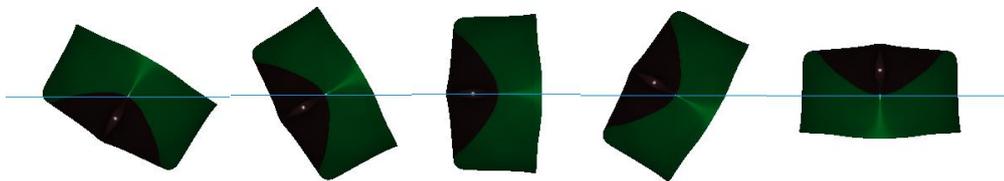
Gambar 7: Kondisi Keberangkatan Pada Cuaca Tenang

2. Sekitar pukul 02.30 WIB, secara tiba-tiba cuaca memburuk, angin berubah menjadi kencang dan gelombang laut menjadi tinggi yang disertai dengan hujan, ketinggian gelombang sampai dengan 3 meter. Dikarenakan kapal mengalami guncangan yang kuat membuat awak kapal terjaga. Tidak lama berselang kapal mendapat hampasan gelombang tinggi kembali berakibat kapal miring ke kiri. Sewaktu kapal bertambah miring dan dirasakan kapal sudah tidak stabil lagi.



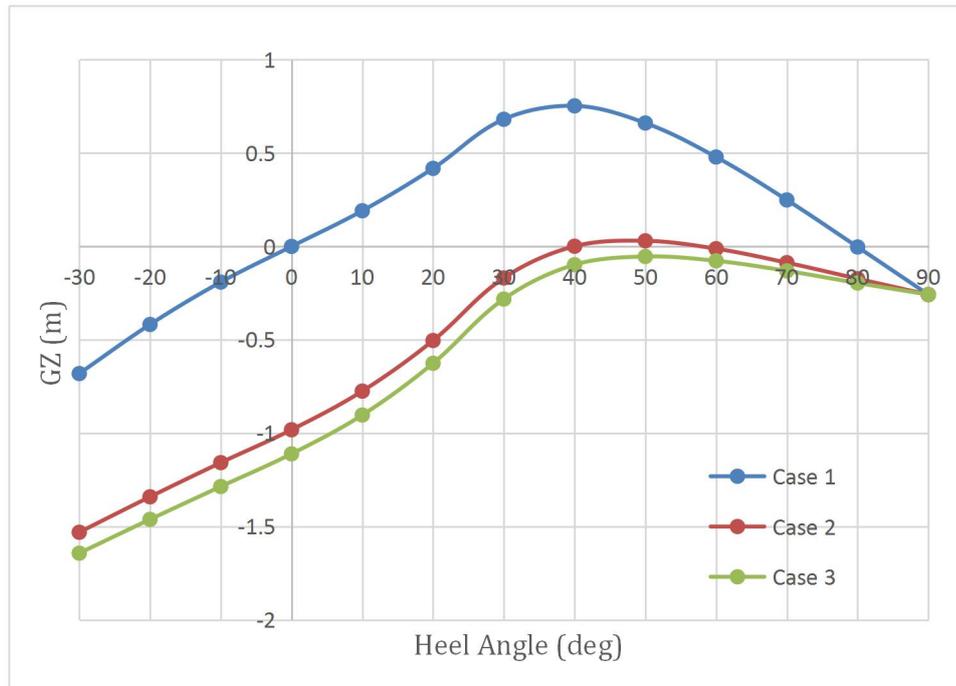
Gambar 8: Kondisi Kapal Pada Cuaca Buruk (Gelombang Tinggi)

3. Dikarenakan kapal mengalami guncangan yang kuat dan tidak lama berselang kapal mendapat hampasan gelombang tinggi kembali berakibat kapal miring ke kiri, dan terus disusul gelombang tinggi berikutnya dengan periode yang sangat singkat sehingga menyebabkan kemiringan kapal bertambah besar yang kemudian mengakibatkan kapal terbalik ke kiri. Setelah KM. *Avatar* terbalik, tidak lama kemudian kapal tenggelam.



Gambar 9 Kondisi Kapal Terus Miring Sampai Terbalik

4. Dalam simulasi tenggelamnya kapal *Avatar* di atas diilustrasikan proses tenggelamnya kapal secara fisik, kemudian untuk melihat lebih mudah proses terbaliknya kapal KM. *Avatar* dibuat grafik grafik perbandingan stabilitas. Perhitungan stabilitas kapal KM. *Avatar* dikondisikan sesuai dengan informasi data dari KNKT yaitu pada saat kapal mulai berangkat dan sampai akhirnya tenggelam di Perairan Malaka. Berikut grafik perbandingan kondisi stabilitas kapal pada saat kondisi air tenang, kondisi badai sampai kapal terbalik dan tenggelam.



Gambar 10: Grafik Perbandingan Tinggi GZ

Keterangan:

- Case 1 : Kondisi kapal berangkat dalam cuaca tenang
- Case 2 : Kondisi kapal berlayar dalam cuaca buruk
- Case 3 : Kondisi kapal dalam keadaan terbalik (capsize)

Dari grafik di atas fase tenggelamnya kapal KM. Avatar dimulai dari Case 2 sesuai dengan kronologi kejadian, di mana pada Case 2 kemiringan kapal ke kiri akibat hantaman gelombang dari sisi kanan setinggi 3 sampai 4 meter. Pada Case 3 kapal sudah tidak stabil hal ini karena pada saat dihantam gelombang tinggi kapal oleng melebihi sudut maksimum GZ sehingga kapal tidak bisa kembali keposisi semula tanpa diberi gaya pengembali. Pada Case 3 ini kapal telah dinyatakan terbalik dan mulai tenggelam.

Tabel 1: Resume Hidrostatik Kapal

No	Description	GZ Max (m)	Heel Angle (deg)
1	Case 1	0.755	0
2	Case 2	0.031	60
3	Case 3	0.000	149

Dari hasil analisa stabilitas yang mengacu pada kronologi tenggelamnya kapal KM. Avatar dapat dilihat pada Tabel 1, di mana kemiringan kapal secara spontan karena dihantam ombak tinggi dan tidak lama berselang kapal mendapat hampasan gelombang tinggi kembali berakibat kapal miring ke kiri, dan terus disusul gelombang tinggi berikutnya dengan periode yang sangat singkat 4.165 detik sehingga menyebabkan kemiringan kapal bertambah besar sampai sudut 60°. Pada saat kapal mencapai sudut 60° kapal sudah tidak stabil dengan nilai lengan GZ 0.031 m karena dihantam ombak tinggi dalam periode yang singkat kapal

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Avatar, Selat Malaka, 14 Juni 2017

semakin kehilangan momen pengembali sehingga kapal terbalik (*capsize*) pada sudut 80° dan tidak lama setelah kapal terbalik kapal tenggelam karena kehilangan daya apung

Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Respons Gerakan Rolling Kapal Akibat Gelombang

Frekuensi encounter	Respons Spectrum	Frekuensi encounter	Respons Spectrum	Frekuensi encounter	Respons Spectrum
0.40000	0.00000	1.25333	8.66174	2.35810	0.05280
0.41778	0.00006	1.32698	5.32122	2.43175	0.04162
0.43556	0.00072	1.40064	3.37735	2.50540	0.03306
0.45333	0.00555	1.47429	2.20666	2.57905	0.02645
0.47111	0.02887	1.54794	1.47887	2.65270	0.02130
0.55365	2.58144	1.65841	0.84537	2.76317	0.01558
0.59048	7.20917	1.69524	0.70843	2.80000	0.01407
0.62730	14.54253	1.73206	0.59630	2.97778	0.00879
0.66413	23.55369	1.76889	0.50401	3.15556	0.00565
0.73778	41.31572	1.84254	0.36431	3.51111	0.00251
0.77460	48.40844	1.87937	0.31143	3.68889	0.00172
0.81143	53.95172	1.91619	0.26714	3.86667	0.00121
0.84825	57.90613	1.95302	0.22990	4.04444	0.00086
0.88508	60.07103	1.98984	0.19847	4.22222	0.00062
0.92191	59.87698	2.02667	0.17185	4.40000	0.00045
0.95873	56.55169	2.06349	0.14922	4.57778	0.00034
0.99556	49.95550	2.10032	0.12993	4.75555	0.00025
1.03238	41.33058	2.13714	0.11344	4.93333	0.00019
1.06921	32.59992	2.17397	0.09928	5.11111	0.00015
1.14286	19.10716	2.24762	0.07661	5.46666	0.00009
1.21651	11.19370	2.32127	0.05965	5.82222	0.00006
				6.00000	0.00004

