



KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI
REPUBLIK INDONESIA

FINAL
KNKT.15.09.03.03

Laporan Investigasi Kecelakaan Pelayaran

Tenggelamnya *Meratus Banjar 2*
Perairan Masalembu, Jawa Timur
1 September 2015



2018

*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 manapun.*

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. IMO Resolution 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 2018.

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Meratus Banjar 2, Perairan Pulau Masalembu, 1 September 2015

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa dengan telah selesainya penyusunan Laporan Final Investigasi Kecelakaan Pelayaran Tenggelamnya **Meratus Banjar 2** di perairan Pulau Masalembu, Jawa Timur tanggal 1 September 2015.

Bahwa tersusunnya Laporan Final Investigasi Kecelakaan Pelayaran ini sebagai pelaksanaan dari amanah atau ketentuan 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 (*final report*)”

Laporan Final 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 dimasa yang akan datang. Penyusunan laporan final ini disampaikan atau dipublikasikan setelah meminta tanggapan dan atau masukan dari regulator, operator, pabrikan sarana transportasi dan para pihak terkait lainnya.

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

Jakarta, April 2018

KOMITE NASIONAL
KESELAMATAN TRANSPORTASI
KETUA

Dr. Ir. SOERJANTO TIAHJONO

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Meratus Banjar 2, Perairan Pulau Masalembu, 1 September 2015

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
SINOPSIS	ix
I. INFORMASI FAKTUAL	1
I.1. DATA KAPAL	1
I.1.1. Data utama kapal.....	1
I.1.2. Peralatan navigasi dan komunikasi	2
I.1.3. Sistem penggerak utama berikut sistem pendinginnya	2
I.2. STRUKTUR BADAN KAPAL DAN KAMAR MESIN	3
I.3. PERALATAN KESELAMATAN	3
I.4. MUATAN	3
I.5. AWAK KAPAL.....	3
I.6. RIWAYAT PERBAIKAN KATUP SISTEM PENDINGIN AIR LAUT	4
I.7. KONDISI CUACA.....	6
I.8. KRONOLOGIS KEJADIAN	7
I.9. AKIBAT KECELAKAAN	11
I.10. MASUKNYA AIR KE KAMAR MESIN	12
I.11. POSISI KAPAL DI DASAR LAUT	13
I.12. PETUNJUK KERJA PERBAIKAN KATUP	14
I.13. PENGAWASAN GALANGAN KAPAL	14
II. ANALISIS	17
II.1. KERUSAKAN DISC KATUP SEA CHEST	17
II.2. TEKANAN PADA PIRINGAN KATUP.....	17
II.3. PROSEDUR PERBAIKAN DAN PENGUJIAN KATUP	19
II.4. PENYEBAB TENGGELAMNYA KAPAL	20
II.5. MANAJEMEN KESELAMATAN KAPAL	21
II.5.1. Prosedur Pembersihan Saringan Air Laut.....	21
II.5.2. Tindakan Mengatasi Kebocoran Di Kamar Mesin	22
II.5.3. Komunikasi Darurat	23
II.6. SALVAGE.....	23

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Meratus Banjar 2, Perairan Pulau Masalembu, 1 September 2015

III.	KESIMPULAN.....	25
III.1.	FAKTOR YANG BERKONTRIBUSI.....	25
III.2.	FAKTOR MEMPENGARUHI KESELAMATAN	25
IV.	REKOMENDASI.....	27
IV.1.	DIREKTORAT JENDERAL INDUSTRI LOGAM, MESIN, ALAT TRANSPORTASI DAN ELEKTRONIKA KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN	27
IV.2.	PT. BIRO KLASIFIKASI INDONESIA.....	27
IV.3.	PT. MERATUS LINE.....	27
IV.4.	PT. SAMUDERA MARINE INDONESIA	28
	SUMBER INFORMASI.....	29
	LAMPIRAN	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1: Meratus Banjar 2	1
Gambar I.2: Sistem pendingin air laut. Tanda lingkaran kuning adalah katup jenis angle valve isapan air laut sisi kiri.....	2
Gambar I.3: a) kondisi di dalam valve sebelum dibuka dan dilakukan perbaikan; b) kondisi valve disc setelah dibuka dan sebelum diperbaiki;	5
Gambar I.4: a) kondisi valve disc setelah di re-build up ; b) ilustrasi angle valve	5
Gambar I.5: peralatan uji tekan hidrolis dengan medium air untuk pressure test.....	6
Gambar I.6: Potongan piringan katup yang diperbaiki	6
Gambar I.7: Ilustrasi pembukaan tutup saringan saluran pendingin air laut pada kapal sejenis Meratus Banjar 2. Kanan: bentuk saringan yang dibongkar	8
Gambar I.8: Low Sea Chest dan katup-katupnya	8
Gambar I.9: Rute pelayaran Meratus Banjar 2 dan posisi tenggelamnya kapal	10
Gambar I.10: kondisi kapal pada saat abandon ship.....	11
Gambar I.11: kondisi kapal pada pukul 17.05 WITA tampak kapal mengalami trim buritam .	11
Gambar I.12: Kondisi kapal saat akan tenggelam	12
Gambar I.13: Kondisi kapal tenggelam miring kiri pada tanggal 2 September 2015 pukul 06.03 WITA	12
Gambar I.14: Hasil survey bawah air terkait kondisi terakhir Meratus Banjar 2	13
Gambar II.1: Kurva stabilitas kapal pada saat sebelum terjadi kebocoran di kamar mesin	20
Gambar II.2: penurunan stabilitas kapal pada saat kapal mengalami trim buritan.....	21

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Meratus Banjar 2, Perairan Pulau Masalembu, 1 September 2015

SINOPSIS

Tanggal 31 Agustus 2015, pada pukul 17.25 WITA¹, *Meratus Banjar 2* bertolak dari Pelabuhan Berlian Barat, Surabaya menuju ke Pelabuhan Makasar dengan membawa muatan peti kemas sejumlah 354 peti kemas, kapal diawaki oleh 20 awak kapal.

Pada tanggal 1 September 2015 sekitar pukul 08.20 WITA, saat KKM, Masinis III, dan Juru minyak jaga berada di ruang kontrol, pompa utama air laut pendingin M/E berjalan secara otomatis. Tekanan air laut pendingin saat itu di bawah tekanan kerja normal.

KKM selanjutnya memerintahkan Masinis III dan Juru minyak Jaga membersihkan saringan kotak air laut atas (*upper sea chest*). Ketika saringan yang telah dibersihkan akan dipasang, tiba-tiba air keluar dengan kencang dari dalam pipa saringan. Masinis III dan Juru minyak Jaga mencoba memasang penutup lubang saringan tetapi hal ini tidak berhasil karena derasnya aliran air laut yang keluar dari dalam saringan.

Air semakin banyak masuk dan membanjiri kamar mesin, upaya yang dilakukan awak kapal untuk menutup saringan tidak berhasil sementara permukaan air semakin tinggi dan mulai menggenangi kamar mesin dan pompa-pompa yang berada di lantai 1.

KKM melaporkan kondisi di kamar mesin kepada Nakhoda, Nakhoda selanjutnya memutuskan awak kapal meninggalkan kamar mesin dan persiapan meninggalkan kapal.

Pukul 11.36 WITA, awak kapal meninggalkan kapal dengan menggunakan sekoci dan *liferaft*.

Sekitar pukul 13.00 WITA seluruh awak kapal di evakuasi oleh *Meratus Spirit 1* yang sedang berlayar tidak jauh dari lokasi kejadian. Buritan kapal trim dan kapal miring kiri, kapal selanjutnya semakin tenggelam.

Tanggal 2 September 2015, sekitar pukul 05.36 WITA, *KM. Meratus Banjar 2* total tenggelam pada posisi lintang 06 09'25" S / Bujur 114 02'.80" T. Dalam kejadian ini seluruh awak kapal *Meratus Banjar 2* selamat.

KNKT menyampaikan beberapa butir rekomendasi terkait dengan temuan-temuan selama proses investigasi yang utamanya berfokus pada manajemen dan pengawasan perbaikan komponen kapal.

¹ Waktu Indonesia Tengah (UTC+8)

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Meratus Banjar 2, Perairan Pulau Masalembu, 1 September 2015

I. INFORMASI FAKTUAL



Gambar I.1: Meratus Banjar 2

I.1. DATA KAPAL

I.1.1. Data utama kapal

Kapal Motor (KM) Meratus Banjar 2 ex Maersk Erimo (IMO No. 9163556) merupakan kapal berbendera Indonesia dengan jenis *container ship non-cellular*. Kapal dibangun dengan konstruksi dasar baja di Mawei Shipyard Cina pada tahun 1997. Sejak dibangun, kapal dimaksud telah beberapa kali mengalami pergantian nama dan kepemilikan. Pada tahun 2013, kapal dibeli PT. Mandiri Baharu Line. Selanjutnya kapal dioperasikan oleh PT. Meratus Line. Pada saat kejadian, kapal diklasikan dengan menggunakan model *dual-class* pada Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dan Nippon Kaiji Kyokai (NK).

Ukuran teknis kapal adalah sebagai berikut:

Panjang Keseluruhan (<i>Length Over All</i>)	: 126,50 m
Lebar keseluruhan (<i>Breadth</i>)	: 19,80 m
Tinggi (<i>Height</i>)	: 117,06 m
Sarat Maksimum	: 8,40 m
Tonase Kotor (GT)	: 6114
Tonase Bersih (NT)	: 2885
Bobot Mati (<i>deadweight</i>)	: 7734 Ton
Lambung timbul	: 1525 mm

I.1.2. Peralatan navigasi dan komunikasi

Di atas kapal *Meratus Banjar 2* terpasang serangkaian peralatan navigasi sesuai ketentuan yang terdiri dari peta kertas, ECDIS radar, GPS Receiver, AIS receiver, telephon satelit, radio Telecommunication yang terdiri dari VHF dan *two way radio*.

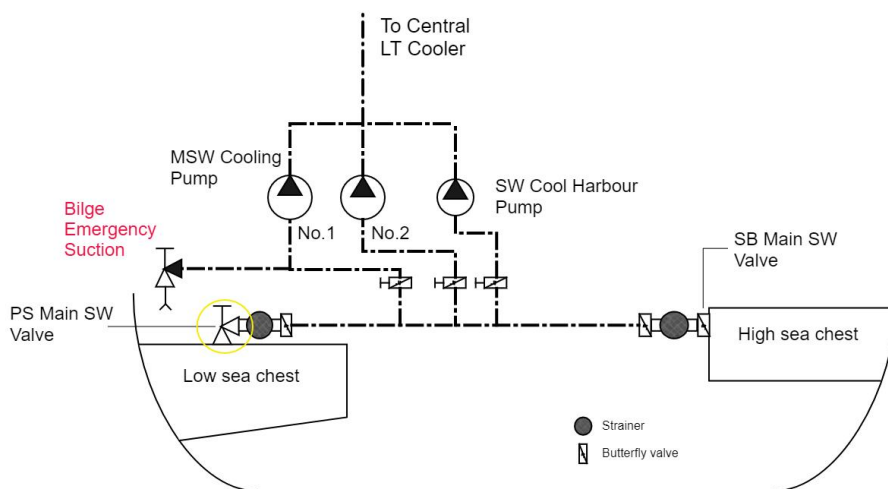
I.1.3. Sistem penggerak utama berikut sistem pendinginnya

Olah gerak kapal didukung dengan 1 unit mesin penggerak utama (*Main engine - M/E*) mesin diesel 4 tak kerja tunggal merek MAN B&W kode 8 S 35 – MC dengan daya 7614 HP pada putaran 170 Rpm² yang memutar sebuah baling-baling jenis *fixed pitch propeller*.

Suplai daya listrik kapal didapat dari 3 (tiga) unit generator, 2 (dua) unit generator (*Auxiliary engine - A/E*) digerakkan masing-masing oleh satu unit mesin diesel merek CATERPILLAR model 3508-DITA dengan daya 2 X 761 HP. Sementara 1 (satu) unit generator lainnya digerakkan oleh poros mesin penggerak utama (*shaft generator-S/G*).

Di atas kapal juga terdapat 1 (satu) unit *emergency generator* tambahan yang digunakan pada saat terjadi gangguan terhadap suplai listrik utama di atas kapal.

Sistem pendingin air laut untuk mesin penggerak utama disuplai dari dua unit pompa air laut utama berpengerak motor listrik yang dapat beroperasi secara otomatis. Pompa air laut utama ini memiliki kapasitas sebesar 350m³/jam dengan tekanan kerja sebesar 2,5 bar. Sumber air laut diisap dari dua *sea chest* di kamar mesin yaitu *upper sea chest* dan *low sea chest* yang masing-masing dilengkapi saringan (*strainer*) air laut. *Upper sea chest* digunakan di perairan dangkal seperti pelabuhan dan sungai, sedangkan di tengah laut menggunakan *low sea chest*. Dalam kondisi normal, satu saringan digunakan secara bergantian tergantung kondisi perairan. Air laut dari *sea chest* selanjutnya dipompa ke dalam sistem pendingin melalui 2 unit *Central Low Temperature Cooler* untuk mendinginkan air tawar pendingin M/E.



Gambar I.2: Sistem pendingin air laut. Tanda lingkaran kuning adalah katup jenis angle valve isapan air laut sisi kiri

² Revolution per minute

I.2. STRUKTUR BADAN KAPAL DAN KAMAR MESIN

Meratus Banjar 2 memiliki bangunan atas dan superstruktur yang berada di belakang ruang muat (*Cargo Bay*). Bangunan atas kapal terdiri dari ruang akomodasi bagi awak kapal dan ruang operasi kapal.

Ruang muat terdiri dari 3 palka yang terbagi menjadi 31 *container bay*. Ruang muat peti kemas dibagi menjadi ruang muat dalam (*in hold*) dan di atas palka (*on deck*). Penutup palka menggunakan ponton yang dibongkar. Kapal juga dilengkapi dengan dua unit peralatan bongkar muat (*ship crane*).

Kamar mesin terdiri dari 3 lantai (*Platform*). Di lantai 1 digunakan untuk menempatkan mesin induk, shaft generator, dan pompa-pompa. Sementara di lantai 2 terdapat ruang kontrol mesin, ruang mesin bantu, *purifier*, *workshop*, dan tangki-tangki minyak dan oli. Di lantai 3 kamar mesin terdapat pintu akses keluar kamar mesin. *Emergency generator* kapal terletak di buritan kapal di atas ruang mesin bantu.

I.3. PERALATAN KESELAMATAN

Meratus Banjar 2 memiliki serangkaian peralatan keselamatan yang sesuai dengan peraturan keselamatan kapal barang. Berikut adalah perlengkapan keselamatan di *Meratus Banjar 2* adalah sebagai berikut:

Peralatan	Jumlah
Sekoci/Free Fall Life Boat	1
Rescue Boat	1
Rakit Penolong Kembang (ILR)	2

I.4. MUATAN

Pada saat kejadian, *Meratus Banjar 2* membawa muatan 326 peti kemas/264 teus³. Beberapa jenis muatan yang terdapat di dalam peti kemas yang dimuat di *Meratus Banjar 2* diantaranya muatan umum (tidak spesifik dicantumkan), pupuk organik, minyak goreng, besi, aspal (barang berbahaya), mobil, dan sepeda motor.

I.5. AWAK KAPAL

Pada saat kejadian, *Meratus Banjar 2* diawaki oleh 20 orang awak kapal yang terdiri dari 8 Perwira, 10 rating dan 2 orang Kadet yang semuanya berkebangsaan Indonesia.

Nakhoda memiliki sertifikat kompetensi Ahli Nautika Tingkat - ANT I yang diterbitkan pada tahun 2014 di Jakarta. Yang bersangkutan memulai karir menjadi Nakhoda pada tahun 2005 dengan kapal yang sejenis, dan telah menjadi Nakhoda *Meratus Banjar 2* selama 8 bulan dengan rute pelayaran *liner*.

³ twenty foot equivalent unit

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Meratus Banjar 2, Perairan Pulau Masalembu, 1 September 2015

Kepala Kamar Mesin (KKM) memiliki sertifikat kompetensi Ahli Teknik Tingkat - ATT I yang diterbitkan pada tahun 2009 di Jakarta. Pada tahun 2012 yang bersangkutan ditugaskan menjadi KKM *Meratus Banjar 2*.

Masinis III memiliki sertifikat kompetensi ATT III yang diterbitkan pada tahun 2012 di Jakarta. Yang bersangkutan mulai bekerja di PT. Meratus Line sejak tahun 2013 dengan jabatan sebagai Masinis III. Pada bulan Mei tahun 2014, yang bersangkutan ditugaskan di *Meratus Banjar 2* sebagai Masinis III.

Juru Minyak Jaga memiliki sertifikat kompetensi ATT-D yang diterbitkan tahun 2012 di Jakarta. Yang bersangkutan baru sekitar 1 setengah bulan bekerja di *Meratus Banjar 2*, Sebelumnya yang bersangkutan juga memiliki pengalaman kerja sebagai juru minyak selama satu tahun di kapal yang dioperasikan oleh PT. Meratus Line.

I.6. RIWAYAT PERBAIKAN KATUP SISTEM PENDINGIN AIR LAUT

Pada bulan Agustus 2014, *Meratus Banjar 2* menjalani dok di PT. Samudera Marine Indonesia (SMI) Bojonegara, Banten. Pada saat itu katup sistem pendingin air laut utama sisi kiri (*seaside valve*) termasuk salah satu komponen yang dilakukan perbaikan. Katup tersebut sebelumnya dilaporkan oleh awak kapal tidak kedap sehingga menyebabkan air laut masih tetap mengalir meskipun katup ditutup. Perbaikan baru dapat dilakukan terhadap katup tersebut saat kapal melaksanakan dok di PT. SMI.

Katup tersebut merupakan katup jenis Angle Valve 350A 10K. Rumah katup terbuat dari bahan *cast iron* sementara piringan katup (*disc valve*) terbuat dari bahan kuningan. Dari dokumen laporan hasil pekerjaan dok *Meratus Banjar 2*, detil pekerjaan perbaikan yang dilakukan pada katup tersebut adalah sebagai berikut:

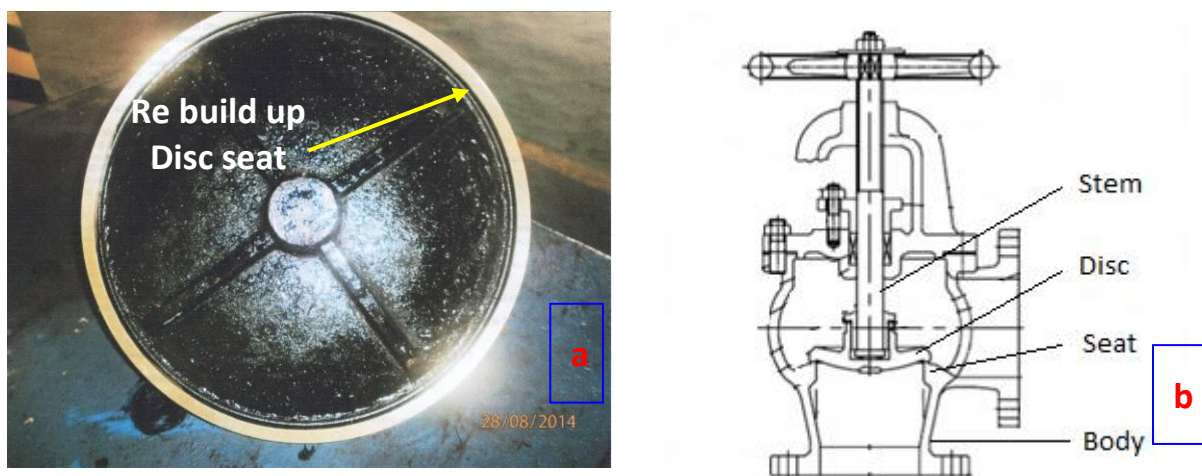
<i>Removed and Refitted Angle Valve</i>	
<i>A. Removed and refitted with new bolt – nut of flanges (HT) bolt & nut M24 x 100 = 32pcs</i>	<i>32pcs</i>
<i>B. Valve overhaul & detil inspection in E/R. Found the disc broken</i>	
<i>1. Removed & refitted with new bolt nut of casing (HT) nut M24 = 16pcs</i>	<i>16pcs</i>
<i>2. Removed & refitted valve casing with new asbestos gasket, asbestos gasket 3mmThk x 490mmL x 490mmW = 1pc</i>	
<i>3. As instruction by OS for re-build up the lid by brassing</i>	
<i>a. In WS 3, the lid of valve skimmed from 117mm to 16 mm</i>	
<i>b. Re-build up the disk by brassing witnessed by OS</i>	
<i>c. On completed build up. Machine the disc from 22mm to 14mm</i>	
<i>d. Drilled and tapped the disc, M4 = 4 holes</i>	<i>4 holes</i>
<i>e. Put bolts on the disc (ss) Bolt M4 x 20 = 4pcs (yard supply)</i>	<i>4 pcs</i>
<i>4. On completed build up, the lid sent on board and lapped</i>	
<i>5. Cleaned by power brush and primer coat 1 x</i>	

6. Removed and refitted gland packing, (square) Gland packing 15mm Thk x 200mmL = 6pcs	6pcs
7. Hydro tested with 10 bar of pressure witnessed by OS and Surveyor	
C. On completed hydro tested. Valve box up as original with new gasket. Asbestos gasket 3mmThk x 490mmL x 490mmW = 2pcs	2pcs

Hasil inspeksi ditemukan piringan katup mengalami kerusakan (Gambar 1.3 a). Berdasarkan hasil inspeksi tersebut, pada tanggal 26 Agustus 2014, pemilik kapal melalui *Superintendent* meminta untuk dilakukan perbaikan piringan katup tersebut dengan cara *re-build up* dan penambahan *stud bolt*. Pada tanggal 28 Agustus 2014, pihak dok PT. SMI selesai melakukan *re-build up* piringan katup (Gambar 1.6 a) dengan metode *brazing* sesuai arahan pemilik kapal.



Gambar 1.3: a) kondisi di dalam valve sebelum dibuka dan dilakukan perbaikan; b) kondisi valve disc setelah dibuka dan sebelum diperbaiki;



Gambar 1.4: a) kondisi valve disc setelah di re-build up ; b) ilustrasi angle valve

Perbaikan yang dilakukan pada katup salah satunya adalah memperbaiki permukaan *disc seat* dengan cara *re-build up* dengan metode *brazing* dan juga penambahan 4 baut (*stud bolt*) pada *disc seat*-nya. Proses *re-build* dilakukan dengan cara membongkar *disc seat* yang

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

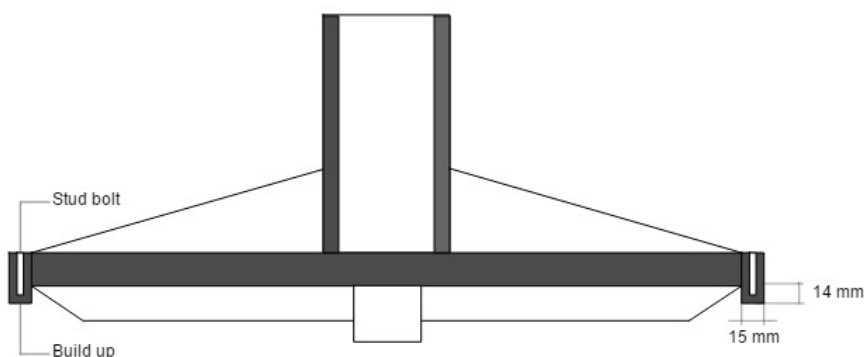
Meratus Banjar 2, Perairan Pulau Masalembu, 1 September 2015

lama, menambal material *disc seat* dengan metode las selanjutnya diratakan dengan gerinda untuk mendapatkan ukuran yang sesuai dengan kondisi sebelumnya.

Pada tanggal 28 Agustus 2014 pula, setelah dilakukan perbaikan oleh pihak galangan, selanjutnya dilakukan pengujian tekan dengan menggunakan tekanan hidrolis sampai dengan 10 bar yang disaksikan oleh surveyor klas. Tekanan ini merupakan standar uji tekan yang diterapkan di galangan. Dari hasil pemeriksaan dinyatakan tidak ada kebocoran dan katup bertahan pada tekanan uji.



Gambar 1.5: peralatan uji tekan hidrolis dengan medium air untuk pressure test



Gambar 1.6: Potongan piringan katup yang diperbaiki

I.7. KONDISI CUACA

Sesuai dengan berita Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Meteorologi Maritim Perak Surabaya pada tanggal 2 September 2015 untuk perairan Masalembu koordinat 06 19' 7" S, 114 30' 7" E, kondisi cuaca sebagai berikut :

- Arah angin dari timur – tenggara dengan kecepatan 18 – 38 km/jam.

- Tinggi gelombang signifikan 0.5 – 1.5 meter.
- Tinggi gelombang maksimum 0.8 – 2.5 meter.
- Arah arus menuju barat laut dengan kecepatan maksimum 40 cm/detik.
- Cuaca cerah sedikit berkabut dengan jarak pandang 5 *Nautical Mile*.

I.8. KRONOLOGIS KEJADIAN

Tanggal 31 Agustus 2015, pada pukul 17.25 WIB, *Meratus Banjar 2* bertolak dari Dermaga Berlian Barat Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya menuju ke Pelabuhan Makasar. Kapal pada saat itu membawa muatan peti kemas sejumlah 354 peti kemas.

Pada pukul 22.12 WIB, kapal dinyatakan BOSV (*begin of sea voyage*), selanjutnya suplai listrik di kapal dipindah dari mesin bantu (A/E) ke generator poros (S/G) sementara pompa air laut pendingin utama (*main sea water cooling pump-MSW Cooling pump*) untuk mesin penggerak utama (M/E) yang digunakan adalah MSW Cooling Pump no. 1. Pada saat itu, isapan air laut untuk sistem air laut pendingin juga dipindah dari *sea chest* sisi atas (*upper*) ke *sea chest* sisi bawah (*low*).

Tanggal 1 September 2015, sekitar pukul 07.50 WITA, posisi kapal saat itu berada di sekitar perairan pulau Masalembu, Jawa Timur. Sebagian awak kapal bersiap untuk melaksanakan kegiatan rutin di atas kapal. Masinis III menuju ke kamar mesin untuk pergantian dinas jaga dengan Masinis 1, dalam pergantian dinas jaga tersebut, kondisi mesin utama pada putaran konstan 170 rpm, sejauh itu kondisi kamar mesin dalam keadaan baik.

Sekitar pukul 08.00 WITA, KKM menuju ke kamar mesin untuk melakukan kegiatan rutin harian memeriksa kamar mesin dan merencanakan pekerjaan di kamar mesin. Masinis 1, Masinis III, Juru minyak jaga 04.00-0800, dan Juru minyak jaga 08.00-1200 saat itu sedang berada di ruang kontrol mesin. Mereka berbincang sejenak di ruang kontrol mesin, tidak lama kemudian Masinis 1 dan Juru minyak Jaga 04.00-0800 meninggalkan kamar mesin untuk sarapan pagi.

Sekitar pukul 08.20 WITA, saat KKM, Masinis III, dan Juru minyak jaga masih berada di ruang kontrol mesin, *MSW Cooling Pump no. 2* yang menyala secara otomatis (*autostart*). KKM melihat tekanan sistem pendingin air laut M/E di indikator yang ada di panel ruang kontrol mesin berkurang dari tekanan kerja, tekanan air laut pendingin sekitar 1,5 kg/cm² atau berada di bawah tekanan kerja normal meskipun MSW Cooling Pump no. 1 dan no. 2 beroperasi. Melihat keadaan tersebut, KKM memerintahkan Masinis III untuk membuka isapan air laut sisi atas (*upper sea chest*) yang letaknya disebelah kanan lantai 1 kamar mesin. Setelah katup isap air laut *upper sea chest* juga dibuka, tekanan sistem pendingin air laut tidak berubah.

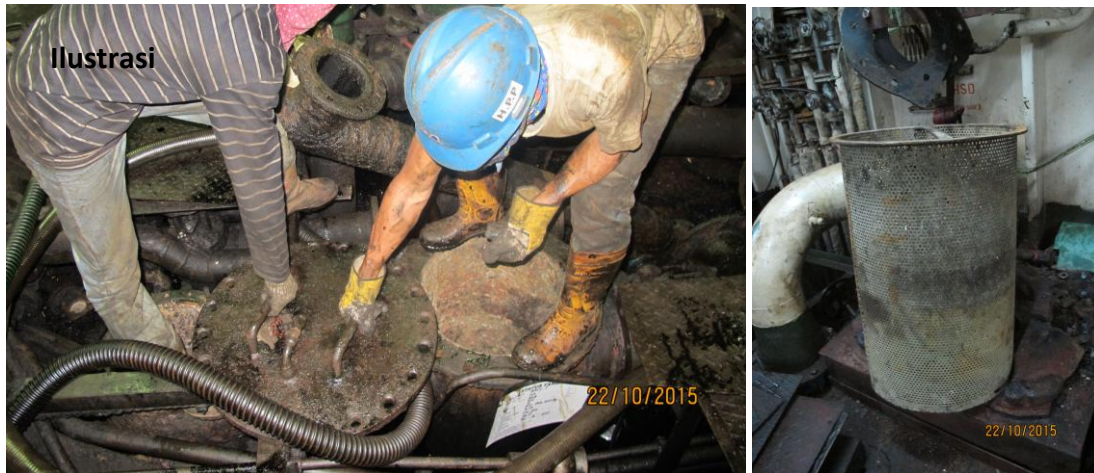
Selang beberapa saat kemudian, alarm *upper temperature fresh water jacket cooling M/E* berbunyi. Suhu air tawar pendingin yang keluar dari M/E mencapai 85°C. Tidak lama kemudian, M/E secara otomatis mengurangi kecepatan (*slowdown*). KKM lalu menjalankan A/E no.1 dan memindah suplai listrik kapal dari S/G ke A/E no. 1, sekitar 5 menit kemudian M/E mati.

KKM selanjutnya menginstruksikan Masinis III dan Juru minyak jaga untuk membersihkan saringan air laut sisi kiri (*low sea chest*). KKM, Masinis III dan Juru minyak jaga selanjutnya menuju lantai bawah kamar mesin bersiap untuk membuka saringan air laut sisi kiri.

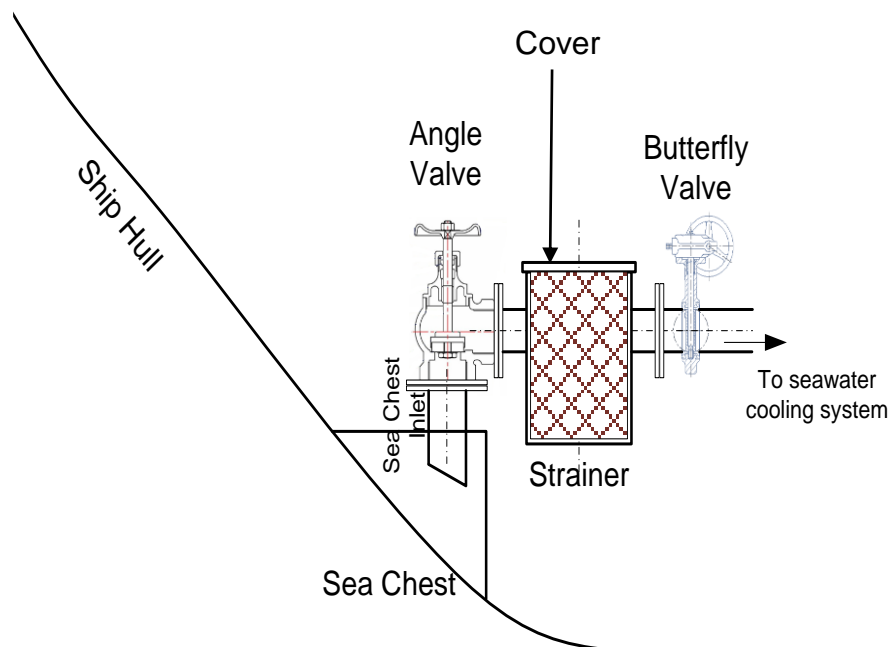
KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Meratus Banjar 2, Perairan Pulau Masalembu, 1 September 2015

Setelah menutup katup isapan (*angle valve*) dan katup keluaran (*butterfly valve*) saringan *low sea chest*, Masinis III membuka katup cerat yang ada di cover saringan air laut untuk membuang air laut yang ada di dalam saringan. Setelah dipastikan tidak ada lagi air yang keluar dari dalam saringan, Masinis III dibantu Juru minyak jaga mulai melepas baut penutup saringan air laut, pada saat itu KKM mengawasi pekerjaan yang dilakukan Masinis III dan Juru minyak jaga.



Gambar 1.7: Ilustrasi pembukaan tutup saringan saluran pendingin air laut pada kapal sejenis Meratus Banjar 2. Kanan: bentuk saringan yang dibongkar



Gambar 1.8: Low Sea Chest dan katup-katupnya

Setelah penutup saringan terbuka dan diangkat, saringan lalu ditarik keluar dan langsung dibersihkan dari kotoran dan sampah yang menempel. Pekerjaan pembersihan saringan dilakukan Masinis III dan Juru minyak jaga selama kurang lebih 5 menit, dan selanjutnya saringan siap dimasukkan kembali ke rumah saringan. Ketika saringan tersebut dimasukkan kembali dan hampir duduk di dalam rumah saringan, KKM dan Masinis III mendengar suara “deggg” dari katup isapan, saat itu juga air laut menyembur deras dari saringan air laut. Semburan air laut hingga mencapai geladak lantai 2 kamar mesin.

Melihat kondisi ini KKM langsung mengecek katup isapan (*angle valve*) dengan mengencangkan katup tersebut, tetapi KKM merasakan katup sudah tidak dapat di kencangkan atau dol (*loose*). Sementara itu, Masinis III bersama Juru Minyak jaga langsung mengangkat tutup saringan dan berupaya menutup saringan, tetapi upaya menutup saringan dan memasang baut pengikat penutup saringan tidak berhasil karena derasnya aliran air laut yang keluar dari dalam saringan.

KKM yang melihat upaya memasang penutup saringan tidak berhasil dilakukan segera menjalankan pompa bilga dan membuka katup isap bilga darurat (*emergency bilge suction valve*) yang tersambung dengan pompa air laut pendingin. KKM selanjutnya memastikan pompa air laut pendingin menghisap genangan air yang mulai menggenangi *tank top* kamar mesin. Sementara itu Masinis III dan Juru minyak jaga masih berusaha memasang penutup saringan.

Melihat derasnya air yang terus keluar dari saringan sehingga menyulitkan Masinis III dan Juru minyak Jaga menutup penutup saringan, KKM segera berlari ke ruang kontrol mesin untuk memberitahukan ke anjungan bahwa air laut masuk ke kamar mesin dan meminta awak kapal lainnya membantu di kamar mesin. Mualim 3 yang sedang jaga di anjungan yang mendengar pemberitahuan dari KKM langsung menyampaikan hal tersebut kepada Nakhoda. Nakhoda lalu memerintahkan Mualim 3 untuk mengumumkan lewat *public addressor* agar semua awak kapal menuju ke kamar mesin untuk membantu mengatasi kebocoran air laut di kamar mesin. Nakhoda selanjutnya bergegas turun menuju ke kamar mesin. Sementara Mualim 3 langsung mengumumkan lewat *public addressor* "Kepada seluruh awak kapal agar segera turun ke kamar mesin. Air laut masuk ke kamar mesin!".

Setelah pengumuman keadaan darurat di kamar mesin oleh Mualim 3, beberapa awak kapal langsung menuju ke kamar mesin. Masinis 1 yang tiba di kamar mesin melihat genangan air sudah mencapai lantai 1 kamar mesin. Masinis 1 juga sempat mengencangkan katup isapan (*angle valve*) air laut, namun terasa ringan diputar. Sementara itu Masinis III dibantu Masinis 2 yang datang kemudian tetap berupaya menutup saringan air laut. Masinis III dan Masinis 2 berdiri di atas penutup saringan untuk menekan penutup agar penutup duduk di tempatnya, namun upaya tersebut tidak berhasil karena tekanan air laut yang keluar dari dalam saringan sangat kuat. Nakhoda yang tiba di kamar mesin menyaksikan beberapa awak sedang berusaha menutup saringan air laut, setelah itu Nakhoda langsung menuju ke anjungan. Saat tiba di anjungan, Nakhoda memerintahkan Mualim 3 membantu awak lainnya di kamar mesin.

Sementara itu di geladak utama kapal, Mualim I yang bertemu beberapa awak kapal lainnya memerintahkan bosun dan juru mudi untuk mengambil pompa celup yang ada di palka 1 untuk selanjutnya dipasang di kamar mesin. Derasnya air yang terus keluar dari dalam saringan air laut mengakibatkan air laut menggenangi kamar mesin, pada saat itu ketinggian air di lantai 1 kamar mesin sudah mencapai setinggi lutut. Melihat kondisi tersebut KKM kemudian kembali ke ruang kontrol kamar mesin dan menghubungi Nakhoda di anjungan.

Pada pukul 09.15 WITA, KKM melaporkan bahwa kebocoran air laut sudah tidak mampu diatasi sehingga ketinggian air di kamar mesin terus naik. Mendapat laporan dari KKM, Nakhoda memerintahkan KKM agar awak kapal persiapan meninggalkan kapal.

Setelah menerima perintah dari Nakhoda, KKM menginstruksikan awak kapal yang ada di kamar mesin meninggalkan kamar mesin, KKM selanjutnya memutuskan untuk mematikan

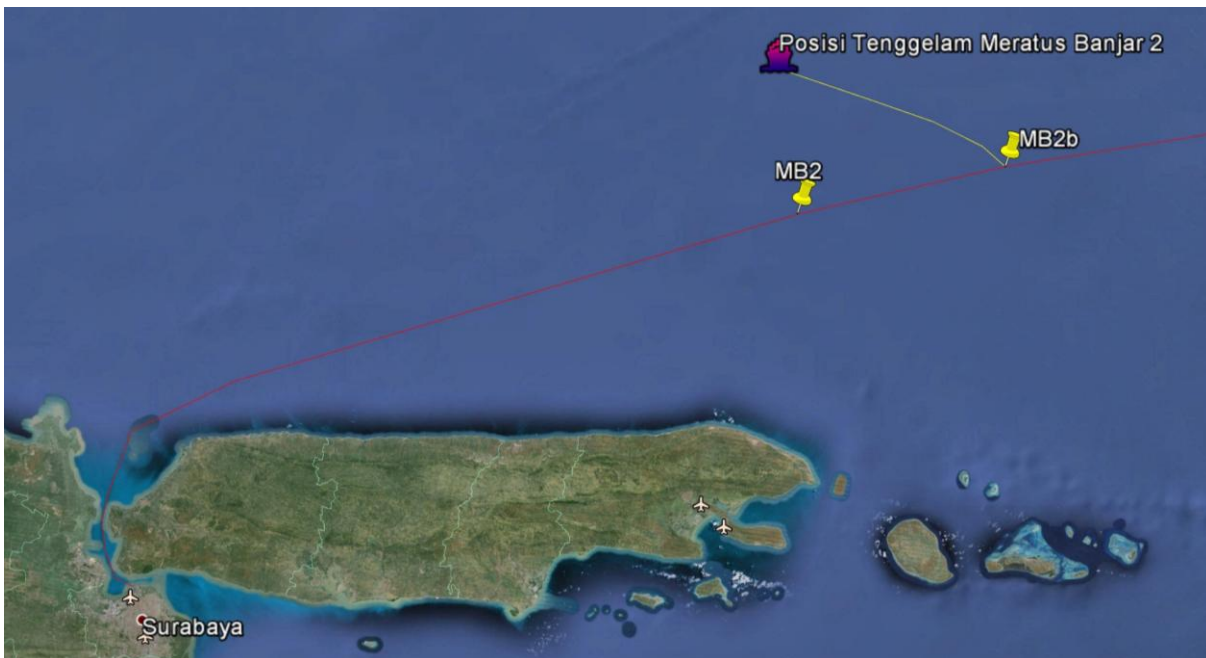
KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Meratus Banjar 2, Perairan Pulau Masalembu, 1 September 2015

(*blackout*) A/E no. 1 karena melihat ketinggian air sudah mencapai motor-motor listrik pompa di lantai 1. Tidak lama setelah kapal *blackout*, *emergency generator* berjalan secara otomatis. Awak kapal yang sebagian masih berada di kamar mesin mulai meninggalkan kamar mesin, mereka lalu pergi ke kamarnya untuk mengambil jaket penolong. Sementara itu KKM menutup semua pintu kedap air di kamar mesin dan di ruang kemudi.

Sekitar pukul 09.30 WITA, Nakhoda yang berada di anjungan bersama Mualim 3 dan Juru mudi jaga mengirimkan berita *distress* dan berkomunikasi melalui telephone kepada DPA PT. Meratus Line tetapi tidak bisa terhubung dengan baik. DPA yang menerima panggilan dari kapal baru menyadari bahwa nomor panggilan tersebut dari *Meratus Banjar 2* yang mencoba berkomunikasi. Nakhoda selanjutnya menghubungi *Meratus Spirit 1* yang posisinya tidak jauh dari *Meratus Banjar 2* melalui channel 16 meminta Nakhoda *Meratus Spirit 1* menyampaikan ke DPA untuk mengirim bantuan evakuasi pada posisi 06 19' 09" S / 114 30' 30" E. Informasi yang diterima Nakhoda dari *Meratus Spirit 1* bahwa DPA memerintahkan awak kapal *Meratus Banjar 2* untuk menjauh dari kapal. Saat itu komunikasi antara *Meratus Banjar 2* dengan perusahaan terus dilakukan melalui *Meratus Spirit 1*. Nakhoda *Meratus Banjar 2* mengganti ke channel 15 untuk terus berkomunikasi dengan *Meratus Spirit 1*.

Sementara itu, awak kapal mulai berkumpul di buritan kapal dan bersiap meninggalkan kapal. Saat awak kapal semua berkumpul di buritan kapal termasuk Nakhoda, Mualim I naik ke anjungan untuk berkomunikasi dengan *Meratus Spirit 1*. Informasi dari *Meratus Spirit 1* yang diterima Mualim I menyarankan agar menurunkan jangkar kapal.



Gambar 1.9: Rute pelayaran Meratus Banjar 2 dan posisi tenggelamnya kapal

Sekitar pukul 11.04 WITA, Mualim I selanjutnya bergegas ke haluan kapal dan melepas *brake* jangkar kanan, saat itu jangkar turun sekitar 3-4 segel. Setelah itu Mualim I kembali ke buritan kapal. Di buritan kapal, awak kapal mulai menurunkan sekoci, *liferaft* kiri dan kanan.

Sekitar pukul 11.36 WITA, atas perintah Nakhoda, awak kapal mulai meninggalkan kapal menggunakan sekoci dan *liferaft*.



Gambar I.10: kondisi kapal pada saat abandon ship

Sekitar pukul 13.00 WITA seluruh awak kapal dievakuasi oleh *Meratus Spirit 1*. Dalam kejadian ini seluruh awak *Meratus Banjar 2* selamat.



Gambar I.11: kondisi kapal pada pukul 17.05 WITA tampak kapal mengalami trim buritam

Pada tanggal 2 September 2015, sekitar pukul 06.13 WITA, *Meratus Banjar 2* tenggelam total pada posisi lintang 06 09'25" S / Bujur 114 02'.80" T.

I.9. AKIBAT KECELAKAAN

Akibat kejadian ini, kapal dan seluruh muatan peti kemas tenggelam. Sementara seluruh awak kapal selamat.



Gambar I.12: Kondisi kapal saat akan tenggelam



Gambar I.13: Kondisi kapal tenggelam miring kiri pada tanggal 2 September 2015 pukul 06.03 WITA

I.10. MASUKNYA AIR KE KAMAR MESIN

Masuknya air laut ke kamar mesin bermula dari pekerjaan pembersihan saringan air laut *low sea chest* di kamar mesin. Sebelumnya Masinis III dan Juru minyak jaga telah menutup katup isapan (*angle valve*) dan keluaran (*butterfly valve*) saringan sistem air laut sisi kiri. Setelah sisa air dalam saringan dicerat dan dipastikan tidak terdapat lagi air laut yang keluar dari saringan, pekerjaan pembersihan saringan mulai dilakukan.

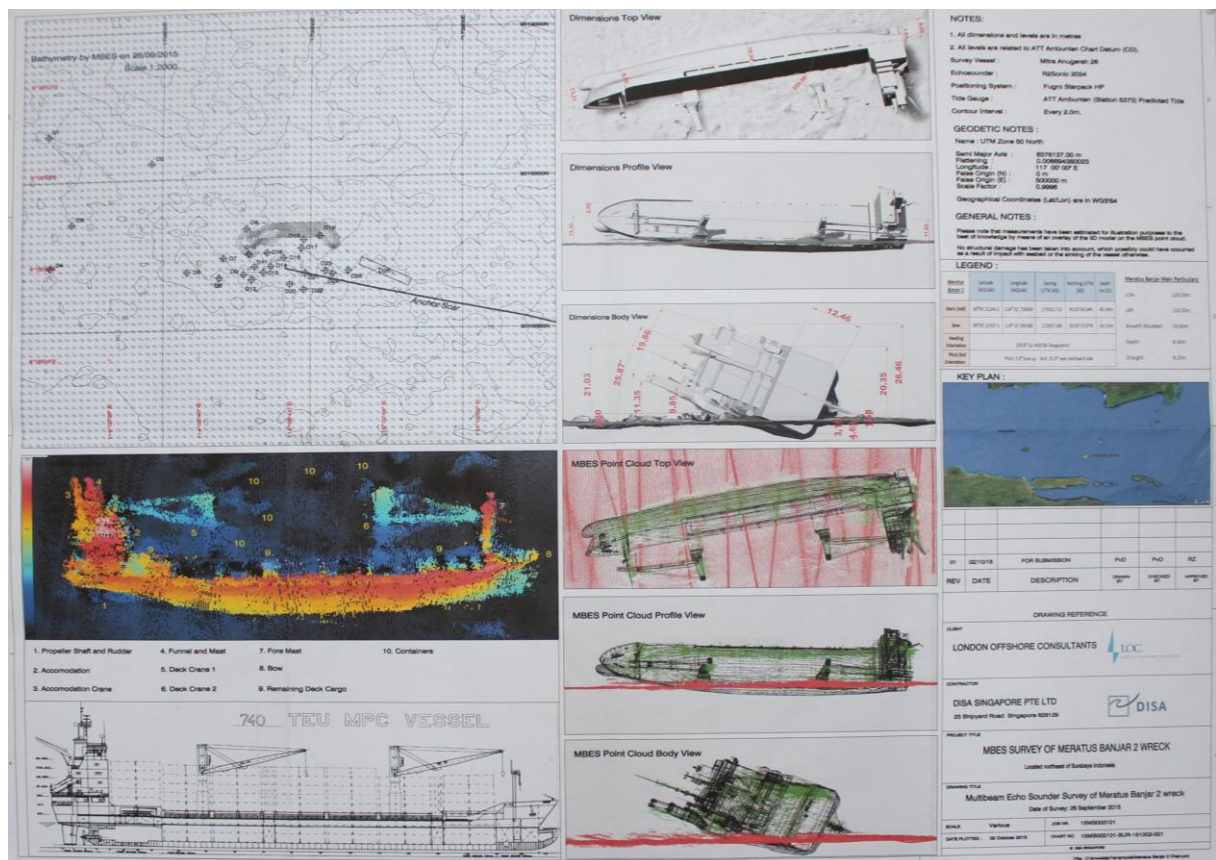
Setelah saringan tersebut dibersihkan dan dimasukkan kembali ke rumah saringan, tiba-tiba keluar semburan air laut yang sangat deras dari dalam saringan. KKM yang melihat situasi

tersebut langsung mengencangkan katup isapan air laut (*angle Valve*), namun terasa ringan saat diputar. Upaya Masinis III dan Juru minyak jaga untuk memasang penutup (*cover*) saringan juga tidak berhasil meskipun Masinis III berdiri di atas penutup saringan untuk menekan dan memasang baut pengikat penutup saringan. Kegagalan untuk memasang penutup saringan menyebabkan sejumlah besar air laut terus masuk dan membanjiri kamar mesin.

Perhitungan terhadap debit air yang masuk melalui lubang *seachest* pada saat kerusakan pertama kali mencapai 1.15 meter kubik per detik. Tekanan yang dihasilkan dari masuknya air mencapai 0.5 bar. Berat tutup saringan yang mencapai sekitar 30 kg tidak dapat menahan laju air atau tekanan yang dihasilkan sehingga air semakin banyak keluar dari lubang saringan.

I.11. POSISI KAPAL DI DASAR LAUT

Dari hasil survey bawah air dengan *multibeam echo sounder* diketahui bahwa *Meratus Banjar 2* yang tenggelam di dasar Laut Jawa dalam posisi lambung kiri berada di bawah dan dalam kondisi miring kiri atau 25,9° dari dasar laut dengan kedalaman sekitar 62,5 meter.



Gambar 1.14: Hasil survey bawah air terkait kondisi terakhir Meratus Banjar 2

Lokasi tenggelam kapal berada di perairan 18 mil arah Barat Daya Pulau Masalembu. Pulau Masalembu merupakan area lalu lintas kapal, selain itu Pulau Masalembu merupakan area tempat berlindung kapal-kapal jika terjadi gelombang tinggi dan angin kencang.

Wilayah perairan Masalembu juga merupakan daerah latihan kapal selam Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut (TNI-AL) dan kapal-kapal perang lainnya dengan area latihan laut dangkal antara 0-80 meter.

Pada tanggal 10 Februari 2017, posisi tenggelam *Meratus Banjar 2* telah dimasukkan ke dalam Berita Pelaut Indonesia (BPI) oleh Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI Angkatan Laut (Pushidrosal).

I.12. PETUNJUK KERJA PERBAIKAN KATUP

PT. SMI memiliki petunjuk kerja perbaikan *valve* (dokumen no. SMI-WI-OPR-06) yang diterbitkan pada 1 April 2013 dan berlaku untuk semua perbaikan katup. Manajer Mechanical menjadi penanggung jawab pekerjaan perbaikan dengan prosedur sebagai berikut:

- 1) Pertemuan untuk membahas cakupan pekerjaan ketika kapal tiba di PT SMI.
- 2) Memeriksa lokasi atau item pekerjaan bersama pihak Owner dan KKM lalu dilakukan *marking*.
- 3) Katup dibuka dan dikirim ke workshop.
- 4) Di workshop, dilakukan overhaul pada valve dan dilakukan pengecekan, jika ada kerusakan pada bagian katup akan diinfokan ke pihak Owner, agar mendapat persetujuan pihak Owner untuk dilakukan perbaikan atau diganti baru.
- 5) Setelah selesai diperbaiki, katup dilakukan *pressure test* (tes kebocoran) dengan cara *hydrotest methode*, disaksikan pihak Owner dan Class Surveyor.
- 6) Katup akan dipasang kembali setelah mendapat persetujuan dari pihak Class dan pihak Owner.

I.13. PENGAWASAN GALANGAN KAPAL

Pada tahun 1965, diterbitkan Peraturan Pemerintah nomor 43 tahun 1965 tentang Penyelenggaraan Dan Pengawasan Perindustrian Maritim dimana pada Pasal 17 disebutkan bahwa semua hasil produksi industri maritim dalam negeri wajib memenuhi syarat-syarat teknis yang ditentukan oleh Departemen Industri Maritim.

Dalam Undang-Undang nomor 3 tahun 2014 tentang Perindustrian pada Pasal 50 disebutkan bahwa pengawasan industri dilakukan oleh menteri termasuk standarisasi dan pedoman tata cara. Dimana pelaksanaannya dilakukan oleh pejabat dari unit kerja di bawah Menteri atau lembaga yang ditunjuk. Kementerian Perindustrian dalam hal ini sedang melaksanakan kajian perumusan standar pedoman tata cara reparasi kapal dan komponen kapal yang menjamin kualitas produk terkait keselamatan.

Terkait dengan industri galangan kapal yang masuk ke dalam industri maritim, dalam Peraturan Presiden nomor 29 tahun 2015 juga disebutkan tanggung jawab Direktorat Jenderal Industri Logam, Mesin, Alat Transportasi, dan Elektronika mempunyai tugas menyelenggarakan perumusan dan pelaksanaan kebijakan di bidang pendalaman dan penguatan struktur industri, peningkatan daya saing, pengembangan iklim usaha, promosi industri dan jasa industri, standarisasi industri, teknologi industri, pengembangan industri strategis dan industri hijau, serta peningkatan penggunaan produk dalam negeri pada

industri logam, industri mesin, industri alat transportasi dan maritim, serta industri elektronika dan telematika.

Lebih lanjut diatur dalam peraturan presiden tersebut tentang fungsi Direktorat Jenderal Industri Logam, Mesin, Alat Transportasi, dan Elektronika yang menyusun standar dan prosedur dibidang standarisasi dan teknologi industri pada industri alat transportasi dan maritim.

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Meratus Banjar 2, Perairan Pulau Masalembu, 1 September 2015

II. ANALISIS

II.1. KERUSAKAN DISC KATUP SEA CHEST

Masuknya air laut ke kamar mesin *Meratus Banjar 2* kemungkinan besar disebabkan oleh kegagalan fungsi katup isap air laut (*angle valve*).

Kegagalan fungsi pada katup tersebut diduga karena ada kondisi-kondisi sebagai berikut:

1. Terjadinya keretakan pada *valve seat*;
2. Terjadinya dol pada ulir pada *valve stem*;
3. Terjadinya pecah/retak *valve disc* di bagian yang diperbaiki dengan pengelasan *brassing*.

Saat kapal melaksanakan dok pada tahun 2014, katup isap ini menjadi salah satu komponen yang diperbaiki. Meskipun perbaikan dilakukan lebih dari setahun yang lalu dan selama kurun waktu tersebut tidak terjadi masalah apapun, namun operasi (buka-tutup) katup yang seringkali dilakukan baik untuk keperluan penggantian isapan air laut di kamar mesin (antara *low sea chest* dan *upper sea chest*) saat tiba di pelabuhan atau berlayar di tengah laut maupun operasi (buka-tutup) untuk keperluan pembersihan saringan telah memberikan pengaruh signifikan pada kekuatan material piringan katup sehingga menjadi sangat rentan mengalami keretakan atau pecah.

II.2. TEKINAN PADA PIRINGAN KATUP

Sesuai keterangan dari awak mesin, air laut masuk ke kamar mesin melalui saluran pipa pendingin air laut. Penyebab masuknya air laut besar kemungkinan dari berasal dari kerusakan pada katup *lower sea chest*. Pada saat piringan katup dipuntir terjadi gaya tekan yang bertumpu pada dudukan yang ada di dalam ruang katup. Untuk mempertahankan kedekatan, permukaan piringan katup danudukannya harus pada posisi sejajar dan berimpit sempurna. Pada saat piringan katup ditekan dengan mekanisme pengencangan ulir, terdapat gaya tekan antara tepi piringan denganudukannya. Besarnya gaya tekan pada dudukan katup tergantung pada bentuk dan jarak ulir, besarnya gaya yang diberikan pada saat penguncian serta radius penempatan gaya putar.

KNKT tidak dapat menentukan secara pasti kerusakan pada katup kotak air laut bawah, hal ini dikarenakan posisi kapal yang masih berada di dasar Laut Jawa. Namun demikian, melihat kondisi semburan air yang cukup besar untuk melempar saringan air laut, diperkirakan kerusakan yang terjadi pada bagian dalam katup cukup parah. Melihat kondisi dimaksud, sangat dimungkinkan piringan sudah tidak dalam posisi yang tepat. Piringan katup terbuka cukup lebar sehingga meloloskan air laut yang mempunyai tekanan sebesar 6 bar. Tekanan semburan air laut ini tidak dapat ditanggulangi baik dengan upaya penutupan lubang saringan katup maupun pemompaan.

Sesuai dengan persamaan gaya pada katup, dengan asumsi kekuatan dari awak mesin untuk memutar tuas setara dengan adalah 45 kg, didapatkan besaran tekanan aksial pada dudukan katup adalah sekitar sebesar 8400 kg. Dengan dimasukkan faktor efisiensi diperkirakan besaran gaya ini berkurang sekitar 70% atau 6000 kg. Pemberian gaya tersebut terjadi secara menerus setiap kali operasi buka-tutup katup. Kondisi demikian dapat menimbulkan cacat pada material yang terkena gaya tekan. Dalam hal ini, tepi piringan katup (*disk valve lid*),

tongkat ulir (*stem*) dan dudukan (*valve seating*) merupakan bagian katup yang mendapatkan gaya paling besar akibat dari penguncian katup. Dalam kondisi tertentu, besaran gaya yang diberikan oleh awak kapal dapat lebih besar pada saat awak kapal menggunakan kunci katup (F-key) untuk menambah kekuatan ikatan ulir katup. Hal ini semakin menaikkan besaran gaya tekan pada dudukan dan pinggir piringan.

Beberapa kemungkinan kerusakan bagian dalam katup antara lain, piringan katup mengalami kerusakan berat seperti halnya pecah sebagian, ataupun terlepasnya piringan katup dari tongkat ulir. Beberapa literatur terkait kegagalan katup menunjukkan adanya potensi kerusakan yang signifikan terhadap bagian dalam katup seperti halnya kerusakan pada ulir, dudukan, dan piringan.

Tekanan uji tekan ketika di dok, sebesar 10 bar terhitung terlalu tinggi jika dibandingkan dengan persyaratan uji tekan sebesar 1.5 kali tekanan kerja. Sebagaimana diketahui bahwa tekanan normal pada sarat maksimum kapal 6 meter adalah sebesar 0,6 bar. Dengan demikian katup laut sepatutnya diuji pada sekitar tekanan 1,8 bar. Tekanan uji yang berlebih dapat membuat cacat mikro pada material yang terkena uji tekan. Cacat mikro ini selanjutnya menjadi penyebab kegagalan material setelah menjalani masa operasi dalam kurun waktu tertentu.

Beban sebesar 6000 kg pada piringan dan dudukan katup dapat terjadi akibat operasi buka tutup katup pada saat kapal berada di area dangkal seperti halnya perairan pelabuhan maupun perairan sungai. Hal ini memberikan gaya secara berkesinambungan (*cyclic force*) pada piringan maupun dudukan piringan katup. Dengan gaya *cycle* dimaksud terjadi beban berulang yang selanjutnya dapat memperparah kondisi bagian dalam katup yang sebelumnya diperkirakan telah mengalami cacat mikro.

Keputusan untuk membuka katup *lower sea chest* diambil KKM dengan pertimbangan bahwa seluruh upaya untuk menurunkan temperatur jaket pendingin mesin induk sudah diambil oleh awak mesin. Pada saat KKM memerintahkan untuk membuka saringan *lower sea chest valve* hal ini menempatkan katup *lower sea chest* sebagai pertahanan utama terhadap akses air laut ke kamar mesin. Dengan kondisi operasional kapal sebagaimana disebutkan di atas dapat dipertimbangkan hal-hal berikut untuk mengantisipasi kebocoran pada kamar mesin dari katup *lower sea chest*:

- Sebelum kapal bertolak ke pelayaran berikutnya, awak kapal perlu memastikan kondisi saringan telah bersih dari kotoran yang dapat menghambat. Hal ini relatif lebih mudah dilakukan dengan catatan bahwa pada saat kapal berada di pelabuhan atau perairan dangkal, katup *upper sea chest* yang dioperasikan. Selain itu pula kapal berada dalam posisi yang lebih aman.
- Jika membersihkan saringan *sea chest* merupakan pilihan terakhir, berbagai pertimbangan risiko perlu diambil dan tindakan pencegahan untuk kemungkinan terburuk dipersiapkan, seperti halnya:
 - Menyiapkan seluruh awak kapal dan sumber daya mekanis lain untuk bersiap di ruang mesin.
 - Tidak membuka seluruh baut tutup saringan katup untuk berjaga-jaga jika terjadi kebocoran pada katup.
 - Memastikan tidak ada rembesan pada katup. Jika ada rembesan perlu dipertimbangkan mengevaluasi kemungkinan terjadinya banjir.

- Jika data terkait kebocoran katup menunjukkan risiko yang sedemikian tinggi dan membongkar *sea chest* pada saat kapal terapung tidak mungkin untuk dilakukan, dapat dipertimbangkan untuk memodifikasi saluran air laut dengan menempatkan katup tambahan pada posisi sebelum saringan katup.

II.3. PROSEDUR PERBAIKAN DAN PENGUJIAN KATUP

Perbaikan terhadap katup air laut (*angle valve*) yang dilakukan oleh PT. SMI dilakukan atas permintaan pemilik kapal. Perbaikan dengan melakukan *re-build up* pada permukaan *disc seat* tidak dilaporkan ke surveyor klas maupun Marine Inspector. Namun, pada saat proses pengujian tekan (*pressure test*) disaksikan oleh surveyor klas. Pada saat itu katup diuji tekan sebesar 10 bar dan dinyatakan baik.

Surveyor klas tidak mendapatkan laporan dari pemilik kapal tentang perbaikan (*re-build up*) *disc seat* yang dilakukan PT. SMI, namun surveyor klas mengetahui katup air laut telah dibawa ke workshop PT. SMI, hanya saja katup tersebut tidak diperiksa lebih lanjut setelah dibawa ke *workshop*. Padahal, katup air laut utama merupakan komponen yang wajib diperiksa oleh klasifikasi (*class item*) ketika dilakukan perbaikan.

Perbaikan terhadap *disc seat* katup isapan air laut *low sea chest* yang dilakukan PT. SMI tanpa *Welding Procedure Specification* (WPS) dimana dalam pelaksanaannya harus mendapatkan persetujuan dari klas. Di dalam petunjuk kerja perbaikan *valve* (dokumen no. SMI-WI-OPR-06) juga belum mencantumkan tentang prosedur penilaian dan metode perbaikan yang harus dirujuk termasuk bila memerlukan pekerjaan pengelasan yang mengharuskan diterbitkannya WPS. Perbaikan katup isap air laut *low sea chest* yang dilakukan tanpa prosedur pengelasan (WPS) dan tanpa penilaian surveyor klas menjadi faktor yang berkontribusi pada kegagalan fungsi katup sehingga menyebabkan kecelakaan ini.

Pengelasan dengan cara *brassing* yang dilakukan pada *seat* piringan katup tanpa prosedur pengelasan yang benar dapat merubah struktur material *valve disc* yang dapat mengakibatkan kerusakan di daerah pengelasan. Perbaikan katup air laut *Meratus Banjar 2* dilakukan lebih untuk memenuhi permintaan pemilik kapal. KNKT menilai dari profil kerusakan katup air laut dengan material kuningan yang terjadi pada *Meratus Banjar 2*, kerusakan semacam itu sulit diterima untuk dilakukan perbaikan menurut aturan klasifikasi.

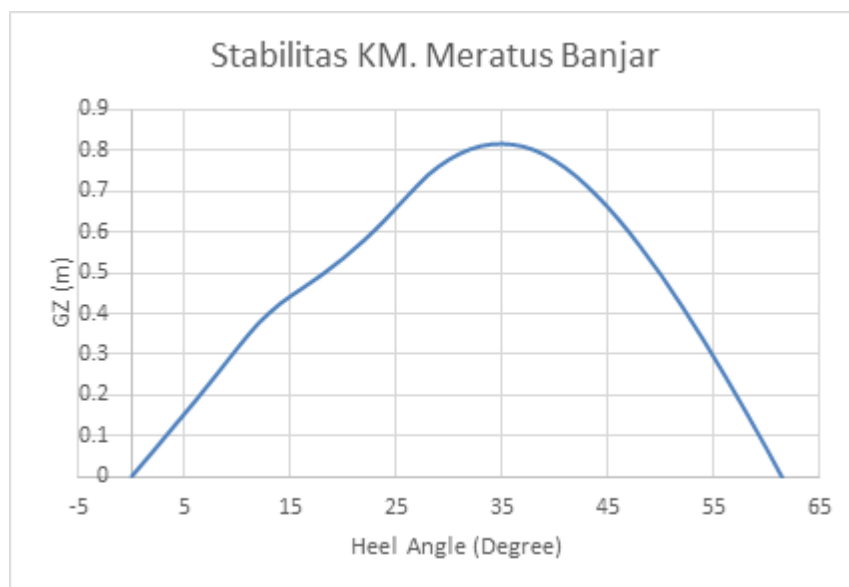
Peraturan klasifikasi kapal mengenai uji tes inspeksi katup laut yang mengacu pada standar yang diakui oleh badan klasifikasi kapal yang bersangkutan. Berdasarkan standar JIS yang diakui oleh badan klasifikasi, katup dengan ukuran diameter 350 mm atau lebih, tekanan uji untuk inspeksi kekedapan *valve seat* adalah 0,25 Mpa (2,5 bar) sedangkan untuk hidrolis *valve body* adalah 0,5 Mpa (5 bar). Sementara tekanan uji yang diberikan pada katup laut saat inspeksi kapal di dok adalah sebesar 10 bar, jauh melebihi pedoman dari JIS.

Pengawasan tata kerja suatu galangan kapal termasuk prosedur kerja reparasi komponen kapal merupakan ranah Kementerian Perindustrian yang telah diatur dalam undang-undang. Namun kementerian tersebut tidak mengawasi teknis pekerjaan suatu perbaikan kapal. Saat laporan ini disusun Kementerian Perindustrian baru akan membuat standar pedoman tata cara reparasi kapal dan komponen kapal.

II.4. PENYEBAB TENGGELAMNYA KAPAL

Untuk mendapatkan gambaran tentang proses tenggelamnya kapal, KNKT melakukan simulasi dengan membuat model didasarkan pada data-data yang didapat dari proses investigasi. Analisis terhadap stabilitas kapal dilakukan dengan mensimulasikan seluruh pembebanan berdasarkan data pemuatan dan seluruh data kondisi keberangkatan kapal. Dalam melakukan perhitungan stabilitas digunakan metode *added weight* dimana masuknya air laut dianggap sebagai beban tambahan. Berdasarkan data pemuatan dan kondisi keberangkatan diketahui bahwa dengan draft depan 6.00 m dan belakang 6.90 m berat *displacement* kapal adalah sebesar 11 500 ton.

Perhitungan stabilitas kapal pada saat kapal berangkat mempunyai nilai GM positif yang relatif cukup baik yaitu sebesar 1.7 m. Selanjutnya kapal berlayar secara aman dengan stabilitas kapal yang baik. Perhitungan stabilitas kapal menunjukkan bahwa posisi GM mulai berkurang pada saat kamar mesin terisi air. Analisis terhadap stabilitas kapal menunjukkan bahwa penurunan stabilitas terjadi tidak hanya akibat dari masuknya air ke dalam kamar mesin, tetapi juga ke kompartemen lainnya seperti halnya ruang mesin kemudi (*steering gear room*) dan ruang muat.



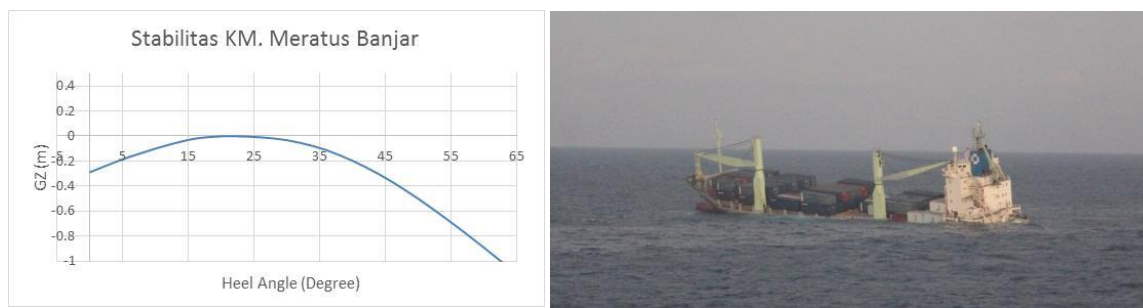
Gambar II.1: Kurva stabilitas kapal pada saat sebelum terjadi kebocoran di kamar mesin

Berdasarkan konsep perhitungan *floodable length*, jarak antar sekat di kapal sudah ditentukan sedemikian rupa sehingga jika terjadi kebocoran pada ruangan dimaksud sampai dengan batas *margin line*, kapal tidak akan tenggelam. Demikian pula dengan sekat di kamar mesin. Pada saat air mulai menggenangi ruangan sampai dengan *margin line*, kapal masih dapat mengapung dengan tegak. Pada kondisi tertentu, pada dua ruang muat yang mengalami kebocoran kapal juga akan masih mempunyai daya apung yang cukup.

Analisis stabilitas kapal menunjukkan bahwa pada saat air masuk sampai dengan sekitar 60% dari total kapasitas volume ruangan kamar mesin, efek permukaan bebas turut berperan memperburuk stabilitas kapal (*free surface effect*). Hal ini dibuktikan dengan kapal mulai miring ketika benaman badan kapal bertambah. Akibat dari pengaruh *free surface area* ini mengakibatkan nilai GM kapal berkurang -2 m (menjadi -0.3 m). Volume ruang mesin adalah sebesar 1700 m³. Foto kapal pada Gambar II.2 merupakan kondisi kapal pada saat sekitar 10

jam setelah kebocoran terjadi. Perhitungan stabilitas menunjukkan bahwa pada saat volume air mencapai 60% (1000 m^3) air sudah mencapai ketinggian 8 m dari *platform* kamar mesin.

Pada saat kapal mendapatkan tambahan trim buritan dan miring, air dimungkinkan sudah melebihi margin dan mulai masuk melalui bukaan-bukaan di geladak utama. Dari foto yang diambil pada saat kapal mulai tenggelam sepenuhnya tampak bahwa air dimungkinkan masuk melalui pintu dan bukaan-bukaan lain di geladak utama kapal.



Gambar II.2: penurunan stabilitas kapal pada saat kapal mengalami trim buritan

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa seharusnya kapal masih mempunyai daya apung yang cukup meski kamar mesin saja yang terisi penuh. Dengan demikian, besar kemungkinan kompartemen lain juga mulai terendam air laut. Hal ini akan menyebabkan bertambahnya berat kapal dan buritan kapal menjadi semakin tenggelam. Kemiringan kapal bertambah secara ekstrim pada saat 18 jam setelah kebocoran terjadi. Lengan stabilitas kapal secara *drastic* menurun. Pada kondisi demikian diperkirakan air sudah menggenangi sisi kiri kapal secara massif. Dengan tidak adanya lengan pengembali atau GM kapal yang negatif, maka kapal tidak dapat lagi berdiri tegak dan kemiringan kapal terus berlanjut.

Hasil analisis terhadap kekuatan memanjang juga menunjukkan adanya kemungkinan kegagalan konstruksi pada bagian sekat depan kamar mesin. Integritas struktur sekat kamar mesin dengan ruang muat mulai menurun pada saat terjadi pembebanan tambahan akibat masuknya air di kamar mesin. Pada kondisi dimaksud dapat dimungkinkant terjadi retakan kecil yang dapat mengakibatkan air masuk ke ruang muat.

II.5. MANAJEMEN KESELAMATAN KAPAL

II.5.1. Prosedur Pembersihan Saringan Air Laut

Pembersihan saringan air laut baik saringan air laut *low sea chest* maupun *upper sea chest* merupakan kegiatan perawatan yang biasa dilakukan awak mesin di atas kapal. Pada saat kejadian, KKM dan Masinis III meyakini katup air laut isap (*angle valve*) kedap sehingga tidak siap mengantisipasi kemungkinan kegagalan fungsi katup. Prosedur pembersihan saringan air laut dilakukan dengan menutup katup isapan dan keluaran saringan air laut. Setelah itu sisa air di dalam saringan dicerat sekaligus memastikan kekedapan katup yang diketahui dengan melihat tidak adanya lagi air laut yang keluar dari katup cerat. Setelah dipastikan katup kedap dan tidak ada air laut yang keluar, penutup saringan dibuka, lalu saringan dikeluarkan dan dibersihkan. Setelah selesai dibersihkan, saringan lalu dimasukkan kembali dan penutup saringan dipasang dan baut pengikat dikencangkan. Namun dalam kejadian ini air laut menyembur keluar dari dalam saringan sebelum penutup dipasang.

Dalam kejadian ini, prosedur pembersihan saringan dilakukan berdasarkan prosedur kerja rutin di atas kapal, tanpa memperhitungkan kemungkinan kegagalan fungsi katup yang dapat menyebabkan air laut masuk ke kamar mesin. Desain penutup saringan juga tidak memberikan kemudahan bila terjadi kegagalan fungsi pada katup. Penutup saringan harus dilepas saat membersihkan saringan, sehingga ketika terjadi kegagalan fungsi katup, penutup saringan akan sulit untuk dipasang kembali. Penutup saringan pada akhirnya tidak dapat dipasang meskipun awak kapal berdiri menekan di atas penutup saringan.

Pembersihan saringan air laut yang terhubung dengan *sea chest* haruslah memperhitungkan kemungkinan kegagalan fungsi katup yang mempunyai risiko masuknya air ke kamar mesin dan dapat mempengaruhi stabilitas kapal. Sehingga awak kapal perlu menyiapkan penilaian risiko dari kemungkinan kegagalan fungsi katup dan rencana darurat bila kondisi tersebut terjadi.

II.5.2. Tindakan Mengatasi Kebocoran Di Kamar Mesin

Awak kapal tidak maksimal dalam menangani tindakan penyelamatan kapal, hal ini terlihat bahwa pada tanggal 1 september 2015 sekitar pukul 11.36 WITA, awak kapal telah melakukan peran meninggalkan kapal dan pada tanggal 2 September 2015 sekitar pukul 05.36 WITA *Meratus Banjar 2* tenggelam total.

Pada saat air mulai menggenangi kamar mesin, KKM, Masinis III dan Juru minyak jaga berupaya mengatasi air yang keluar dari saringan air laut. Setelah upaya yang dilakukan tidak berhasil, beberapa menit kemudian KKM baru melaporkan ke anjungan untuk meminta bantuan seluruh awak kapal. Langkah KKM meminta bantuan seluruh awak kapal terlambat dilakukan, saat awak kapal lain tiba di kamar mesin, genangan air sudah menggenangi lantai 1.

Sesuai dengan manual rencana kontingensi darurat kapal, Nakhoda memerintahkan awak kapal untuk melakukan upaya penyelamatan kapal. Namun upaya untuk menutup saringan air laut *low sea chest* tidak berhasil karena tekanan air laut yang keluar dari dalam saringan sangat kuat dan genangan air di kamar mesin terus naik. Kondisi ini mempengaruhi upaya yang dilakukan awak kapal.

Upaya untuk memompa keluar air laut yang menggenangi kamar mesin juga tidak maksimal. KKM telah menjalankan pompa bilga dan membuka katup isap bilga darurat kamar mesin. Meskipun pompa bilga dijalankan, namun kapasitas pompa bilga terlalu kecil untuk memompa keluar air laut yang menggenangi kamar mesin.

Katup isap bilga darurat yang dibuka oleh KKM juga tidak mampu mengimbangi debit air laut yang masuk ke kamar mesin. Hal ini terlihat ketika katup isap bilga darurat sudah dibuka namun ketinggian air di kamar mesin tetap terus naik. Ketidakmampuan isapan bilga darurat untuk mengimbangi air yang masuk ke kamar mesin dimungkinkan bila isapan air laut sisi kanan (*upper sea chest*) tidak ditutup, akibatnya MSW Cooling Pump masih menghisap air dari *upper sea chest* sehingga fungsi isapan bilga darurat jadi tidak maksimal.

Mualim I dan beberapa awak kapal lainnya juga berusaha membantu dengan menyiapkan pompa celup. Namun kondisi saat itu dinilai Mualim I sudah tidak memungkinkan untuk menggunakan pompa celup, sehingga pompa celup tidak sempat digunakan.

Seluruh tindakan-tindakan yang dilakukan awak kapal dalam menangani banjir di kamar mesin menunjukkan kurangnya penanganan yang terorganisir dan efektif. Hal ini merupakan

pengaruh dari kurangnya implementasi latihan keselamatan tentang keadaan darurat di kapal dengan skenario latihan penanganan banjir di kamar mesin.

II.5.3. Komunikasi Darurat

Dalam kejadian ini komunikasi darurat antara kapal dengan perusahaan tidak berjalan dengan baik, ditandai dengan adanya komunikasi darurat antara *Meratus Banjar 2* dengan perusahaan karena harus melalui *Meratus Spirit 1*. Informasi dari *Meratus Banjar 2* dan arahan atau saran dari perusahaan ke Nakhoda *Meratus Banjar 2* disampaikan melalui *Meratus Spirit 1* melalui radio channel 16 yang selanjutnya dipindah di channel 15.

Komunikasi antara Nakhoda *Meratus Banjar 2* dengan DPA sudah diupayakan tetapi tetap tidak tersambung.

Dalam keadaan darurat, peralatan komunikasi menjadi komponen penting untuk menyampaikan informasi kepada perusahaan tentang situasi dan kondisi di atas kapal. Dukungan dan penilaian keadaan dari pihak perusahaan akan sangat ditentukan dari informasi yang diterima dari kapal. Oleh karena itu, penting untuk memastikan sistem komunikasi darurat di atas kapal dapat berfungsi dengan baik dan siap digunakan setiap saat.

II.6. SALVAGE

Pada tanggal 23 September 2016, Panglima Koarmatim TNI-AL menyampaikan surat kepada Syahbandar Utama Tanjung Perak terkait risiko kerangka kapal *Meratus Banjar 2*. Dalam surat yang disampaikan tersebut disebutkan bahwa lokasi perairan tenggelamnya *Meratus Banjar 2* merupakan daerah latihan kapal perang sehingga dinilai keberadaan *Meratus Banjar 2* serta muatan peti kemasnya di dasar laut dapat mengganggu navigasi pelayaran serta mengganggu sonar bagi kapal selam yang sedang melaksanakan kegiatan operasi dan latihan.

Selain dapat mengganggu keselamatan navigasi dan latihan perang, keberadaan muatan dalam peti kemas berpotensi mencemari lingkungan. Diantara muatan yang berbahaya yang dimuat dalam peti kemas *Meratus Banjar 2* adalah minyak goreng, plastik, dan aspal.

Dalam Peraturan Menteri Perhubungan no. 71 tahun 2013 diatur mengenai *salvage* atau pekerjaan untuk mengangkat atau menyingkirkan kerangka kapal dan muatannya yang mengalami kecelakaan dan tenggelam yang dilakukan oleh badan usaha *salvage*. Kondisi kapal dan muatannya yang tenggelam wajib dilaporkan ke Syahbandar pelabuhan terdekat untuk dievaluasi dan dinilai tingkat gangguan keselamatan berlayar yang ditimbulkannya.

Meratus Banjar 2 tenggelam di kedalaman 62,5 meter di perairan Masalembu dimana dalam PM no. 71 tahun 2013 di pasal 9 diklasifikasikan sebagai tingkat gangguan keselamatan Tingkat II yaitu kerangka kapal dan/atau muatannya berada di perairan di luar Daerah Lingkungan Kerja (DLKr) dan Daerah Lingkungan Kepentingan (DLKp) pelabuhan. Penyingkiran kerangka kapal sebagaimana diatur peraturan yang sama bagi Tingkat Gangguan II yaitu penyingkiran dilakukan paling lama 60 (enam puluh) hari kalender.

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Meratus Banjar 2, Perairan Pulau Masalembu, 1 September 2015

III. KESIMPULAN

Dari analisis di atas dapat disimpulkan bahwa masuknya air ke dalam kamar mesin dikarenakan adanya kegagalan fungsi dari katup air laut *low sea chest*, sehingga air masuk menggenangi kamar mesin dan menyebabkan turunnya stabilitas kapal, akibatnya kapal mulai miring ke kiri dan akhirnya tenggelam sepenuhnya.

III.1. FAKTOR YANG BERKONTRIBUSI

- Tidak dilaporkannya kondisi katup isap air laut oleh pemilik kapal kepada klas pada saat kapal menjalani dok.
- Pekerjaan perbaikan terhadap katup isap air laut (*angle valve*) *low sea chest* saat di dok dilakukan tanpa *welding procedure specification* (WPS) dan penilaian klas.
- Prosedur pembersihan saringan air laut *sea chest* di kapal dilakukan tanpa mengantisipasi kemungkinan kegagalan fungsi katup.
- Upaya pemompaan air keluar kamar mesin dengan menggunakan isapan bilga darurat kamar mesin tidak maksimal, operasi katup isapan bilga darurat ini kurang memperhatikan (menutup) isapan air laut dari *upper sea chest*.

III.2. FAKTOR MEMPENGARUHI KESELAMATAN

- Kondisi awal katup isap air laut yang merupakan klas item tidak diperiksa oleh surveyor klas saat di dok.
- Desain penutup saringan air laut tidak memudahkan awak kapal menutup segera saringan ketika terjadi kegagalan fungsi katup.
- Kurangnya latihan keadaan darurat di atas kapal untuk menangani situasi banjir di kamar mesin.
- Pengawasan tata kerja termasuk di dalamnya tentang prosedur perbaikan belum mendapat perhatian dari kementerian yang terkait.
- Komunikasi darurat di kapal tidak dapat berjalan dengan baik, Nakhoda harus menyampaikan kondisi di kapal ke DPA melalui komunikasi kapal lain.

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Meratus Banjar 2, Perairan Pulau Masalembu, 1 September 2015

IV. REKOMENDASI

Berdasarkan temuan dan faktor yang berkontribusi terhadap kecelakaan tenggelamnya *Meratus Banjar 2*, Komite Nasional Keselamatan Transportasi merekomendasikan hal-hal berikut ini kepada pihak-pihak terkait untuk selanjutnya dapat diterapkan sebagai upaya mencegah terjadinya kecelakaan yang serupa di masa mendatang.

Berdasarkan ketentuan Peraturan Pemerintah nomor 62 tahun 2013 tentang Investigasi Kecelakaan Transportasi Pasal 47:

(1) Operator, pabrikan sarana transportasi, dan pihak terkait lainnya wajib menindaklanjuti rekomendasi keselamatan yang tercantum dalam laporan akhir Investigasi Kecelakaan Transportasi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 44 ayat (3).

(2) Operator, pabrikan sarana transportasi, dan pihak terkait lainnya sebagaimana dimaksud pada ayat (1) wajib melaporkan perkembangan tindak lanjut rekomendasi kepada Ketua Komite Nasional Keselamatan Transportasi.

IV.1. DIREKTORAT JENDERAL INDUSTRI LOGAM, MESIN, ALAT TRANSPORTASI DAN ELEKTRONIKA KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN

- Pengawasan dan sertifikasi industri galangan kapal terkait prosedur pekerjaan perbaikan agar dapat dilimpahkan ke Direktorat Jenderal Perhubungan Laut Kementerian Perhubungan.

Sampai dengan diterbitkannya laporan final kecelakaan ini, KNKT belum mendapatkan safety action terhadap rekomendasi yang disampaikan kepada pihak dimaksud.

Status Rekomendasi: Open

IV.2. PT. BIRO KLASIFIKASI INDONESIA

- Memastikan surveyor yang ditugaskan memperhatikan kondisi awal katup air laut utama kapal dan dinilai sesuai peraturan klas.

Sampai dengan diterbitkannya laporan final kecelakaan ini, KNKT belum mendapatkan safety action terhadap rekomendasi yang disampaikan kepada pihak dimaksud.

Status Rekomendasi: Open

IV.3. PT. MERATUS LINE

- Melaporkan setiap kondisi komponen kritis kapal yang mengalami kerusakan kepada badan klasifikasi untuk dilakukan penilaian.
- Membuat prosedur pembersihan saringan air laut *sea chest* dan memperbaiki mekanisme penutup saringan yang memudahkan awak mesin dengan mempertimbangkan risiko kegagalan fungsi katup.
- Memastikan bahwa peralatan komunikasi darurat di atas kapal berfungsi dengan baik dan siap digunakan setiap saat.

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Meratus Banjar 2, Perairan Pulau Masalembu, 1 September 2015

- Merancang dan melaksanakan latihan keselamatan di atas kapal dengan menggunakan skenario banjir di kamar mesin.
- Agar dapat mengikuti peraturan menteri perhubungan PM. 71 tahun 2013 dalam menangani kerangka kapal dan muatannya yang tenggelam dan diklasifikasikan sebagai tingkat gangguan II yang dilaksanakan dalam kurun waktu 60 hari kalender.

Sampai dengan diterbitkannya laporan final kecelakaan ini, KNKT belum mendapatkan safety action terhadap rekomendasi yang disampaikan kepada pihak dimaksud.

Status Rekomendasi: Open

IV.4. PT. SAMUDERA MARINE INDONESIA

- Membuat prosedur penilaian dan memperbaiki prosedur perbaikan katup yang tersedia saat ini termasuk perlunya penerbitan *welding procedure specification* pada setiap perbaikan komponen ketika dinilai dibutuhkan perbaikan dengan cara pengelasan.

Sampai dengan diterbitkannya laporan final kecelakaan ini, KNKT belum mendapatkan safety action terhadap rekomendasi yang disampaikan kepada pihak dimaksud.

Status Rekomendasi: Open

SUMBER INFORMASI

Kesyahbandaran Utama Tanjung Perak;

PT. Meratus Line;

PT. Samudera Marine Indonesia;

PT. Biro Klasifikasi Indonesia;

Nippon Kaiji Kyokai;

Awak Kapal *Meratus Banjar 2*.

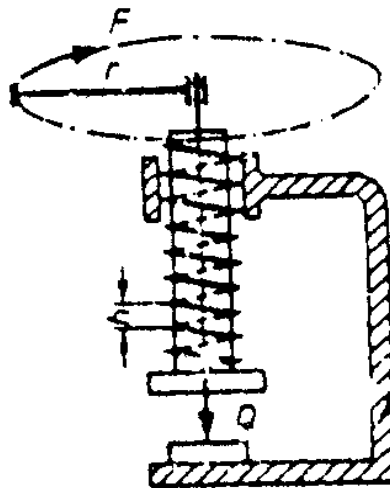
KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

Meratus Banjar 2, Perairan Pulau Masalembu, 1 September 2015

LAMPIRAN

Hasil perhitungan tekanan pada katup

$Q = F \cdot 2 \cdot \pi \cdot r / h$	8485.714	kg	5940	kg		
Dimana:						
Q		kg	Gaya aksial yang dihasilkan oleh bagian bawah ulir			
F	45	kg	besaran gaya yang diberikan utk memutar ulir			
π	3.142857					
r	150	mm	radius gaya yang diberikan pada putaran ulir			
h	5	mm	jarak antar puncak ulir			



KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI REPUBLIK INDONESIA

Jl. Medan Merdeka Timur No.5 Jakarta 10110 INDONESIA

Phone : (021) 351 7606 / 384 7601 Fax : (021) 351 7606 Call Center : 0812 12 655 155

website 1 : <http://knkt.dephub.go.id/webknkt/> website 2 : <http://knkt.dephub.go.id/knkt/>

email : knkt@dephub.go.id

ISBN
BARCODE