

Jurnal Teknik BKI

PROPULSI

Penggerak Informasi Teknik Jasa Klasifikasi Indonesia

Tinjauan Kecelakaan Kapal Laut

Kecelakaan
KMP. Laut Teduh 2

Analisa Keselamatan
Kapal Feri Ro-Ro

VDR Sebagai
Black Box Kapal



BKI Selalu Siap Menjadi Partner Anda.

Berpengalaman selama 50 tahun, kami siap melayani kebutuhan Anda dalam jasa klasifikasi kapal dan instalasi bangunan lepas pantai yang didukung lebih dari 200 tenaga ahli teknik. Kami ada untuk meningkatkan keselamatan dan perlindungan lingkungan laut pada setiap aset anda. Temukan apa yang dapat kami lakukan di www.bki.co.id.

PT. BIRO KLASIFIKASI INDONESIA (Persero)

Pembaca Yang Budiman,



Keberadaan sebuah media yang menyajikan informasi teknik jasa klasifikasi kapal dan instalasi lepas pantai sangat diperlukan oleh pemakai jasa BKI untuk menambah wawasan mengenai riset dan kajian teknik yang dilakukan baik oleh peneliti dan surveyor BKI maupun oleh praktisi dibidang maritim. Untuk mewujudkan hal tersebut, BKI meluncurkan Jurnal Teknik yang dinamakan

PROPULSI yang berarti Penggerak dengan motto "**Penggerak Informasi Teknik Jasa Klasifikasi Indonesia**". Kami berharap Jurnal Teknik BKI **PROPULSI** bermanfaat bagi pemakai jasa BKI karena merupakan satu-satunya media yang bergerak dibidang informasi teknik jasa klasifikasi kapal dan instalasi lepas pantai di Indonesia.

Perkembangan suatu organisasi tidak terlepas dari kebutuhan internal dan selalu berusaha memenuhi tuntutan pemakai jasa. Kamipun melakukan konsolidasi ke dalam dengan mereorganisasi BKI menjadi lebih profesional dan tanggap terhadap setiap kebutuhan pemakai jasa. Beberapa perubahan organisasi yang kami lakukan yang berhubungan langsung dengan pemakai jasa diantaranya adalah:

- Melakukan penyatuan (merger) Divisi Lambung & Material dan Divisi Mesin & Listrik menjadi Divisi Teknik yang memiliki tupoksi untuk melakukan pemeriksaan dan pengesahan dokumen dan gambar konstruksi dan sistem kapal. Tujuan dari penyatuan divisi tersebut adalah untuk mempercepat proses pemeriksaan dan pengesahan dokumen dan gambar tersebut.

- Membentuk Divisi Pelayanan Pelanggan untuk membantu pemakai jasa BKI dalam mengakses jasa klasifikasi, berkonsultasi mengenai perkembangan pemeriksaan dokumen dan gambar dan menyampaikan segala macam masukan dalam bentuk saran, kritik dan keluhan. Kami harapkan divisi tersebut menjadi kanal komunikasi antara BKI dan pemakai jasa sehingga kami dapat memberikan pelayanan lebih baik lagi.
- Pemisahan organisasi di BKI Cabang menjadi segmen klasifikasi dan segmen komersil dilakukan dengan maksud lebih fokus terhadap jenis layanan yang dibutuhkan pemakai jasa sehingga diharapkan kecepatan pelayanan untuk kedua segmen tersebut lebih ditingkatkan.

Selain melakukan re-organisasi, kami terus berupaya meningkatkan kualitas dan profesionalitas lebih dari 200 personil teknik yang dimiliki BKI. Salah satunya bergabung dengan The Royal Institution of Naval Architects (RINA) Corporate Partner bersama lebih dari 100 institusi bidang maritim diseluruh dunia melalui kerjasama pengembangan SDM.

Memasuki usia yang ke-50, BKI terus bergerak menjadi lebih baik untuk tetap menjaga kepercayaan anda. Terima kasih.

Salam Hangat,

Rudiyanto

Direktur Utama Biro Klasifikasi Indonesia

Salam Propulsi.

Pada edisi pertama ini kami menghadirkan tema yang terkait dengan keselamatan maritim khususnya kecelakaan kapal yang beberapa tahun ini sering terjadi di Indonesia. Dari hasil investigasi menunjukkan bahwa sebagian besar kecelakaan kapal yang salah satunya terjadi diperairan Indonesia disebabkan oleh kelalaian manusia (*Human Error*). Hal inilah yang mendorong IMO sebagai organisasi maritim internasional mengeluarkan beberapa aturan baru statutoria terkait kelayakan dan kompetensi ABK kapal yang tercantum didalam ISM (*International Safety management*) dan MLC (*Maritime Labour Convention*) yang diaplikasikan melalui audit tambahan untuk setiap kejadian kecelakaan kapal. Disamping itu perlunya peran aktif dari pemilik kapal untuk segera menginformasikan apabila terjadi kecelakaan pada kapalnya, hal ini akan berpengaruh terhadap validitas sertifikat kapal tersebut dan juga perlunya pengumpulan data kecelakaan kapal baik yang bersifat kerusakan minor maupun major dalam rangka pengembangan statistik kerusakan (*damage statistic*) yang nantinya akan dijadikan salah satu acuan untuk pengembangan aturan teknik BKI.

Beberapa artikel utama dalam jurnal ini menjelaskan secara lebih mendalam terkait tema kecelakaan kapal dalam upaya memberikan informasi dan solusi dalam meningkatkan

keselamatan laut di Indonesia, meliputi studi kasus berupa hasil investigasi dan analisa terjadinya kecelakaan salah satu kapal penumpang diperairan Indonesia, analisa pengaruh kebocoran terhadap stabilitas kapal yang cukup memberikan informasi mengenai kondisi kapal-kapal yang berlayar diperairan Indonesia, kajian kriteria stabilitas yang bertujuan untuk pengembangan aturan keselamatan yang berhubungan dengan garis muat dan stabilitas kapal domestik dan pengenalan peralatan kapal yang berfungsi untuk meningkatkan keselamatan dilaut. Disamping juga beberapa artikel pendukung dari berbagai bidang dan kompetensi yang ada di BKI diantaranya tulisan terkait informasi teknik tentang aturan bangunan lepas pantai, permesinan kapal dan analisa resiko struktur bangunan lepas pantai.

Akhir kata, semoga dengan diterbitkannya Jurnal Teknik BKI ini, dapat menjadi sumber informasi dan referensi bagi para pembaca dan tak lupa saran dan masukan kami harapkan guna penyempurnaan pada edisi-edisi selanjutnya, Terima Kasih!

Selamat Membaca!

Jurnal teknik ini dapat diakses melalui website BKI di www.bki.co.id.

Pengarah	: Direksi BKI
Penanggungjawab	: Kepala Divisi Manajemen Strategis
Pemimpin Redaksi	: Senior Manager Riset dan Pengembangan Teknikal
Anggota	: Mochammad Zaky Sukron Makmun Defri Sumarwan Eko Maja Priyanto Gde Sandhyana Pradhita

ALAMAT REDAKSI :

Dewan Redaksi
Divisi Manajemen Strategis
Biro Klasifikasi Indonesia
Telp. 021-4301017 ext 2001
Email : propulsi@bki.co.id
Jl. Yos Sudarso No. 38-40
Jakarta

3 **Sambutan Direktur**4 **Salam Redaksi**5 **Daftar Isi**7 **Kecelakaan KMP. Laut Teduh 2**

Di Perairan Sekitar Pulau Tempurung Selat Sunda, Banten 28 Januari 2011

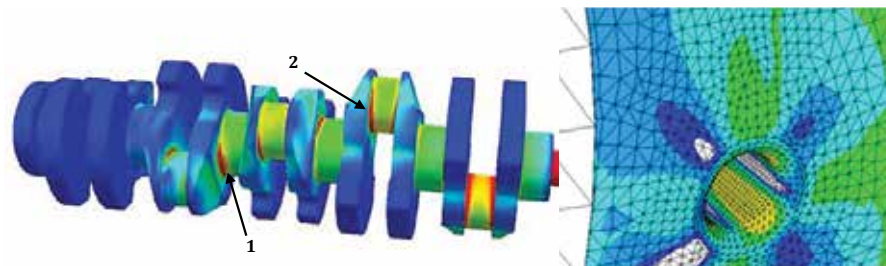
15 **ANALISA KESELAMATAN KAPAL FERI RO-RO DITINJAU DARI DAMAGE STABILITY**

SAFETY ANALYSIS ON RO-RO FERRY BASED ON DAMAGE STABILITY

23 **VDR SEBAGAI BLACK BOX KAPAL**31 **KARAKTERISTIK LINGKUNGAN PERAIRAN INDONESIA:**

DASAR PENENTUAN KRITERIA STABILITAS KAPAL DALAM NEGERI

- 41** **CRANKSHAFT (1) :**
Faktor Penyebab Kerusakan dan Metode Pencegahannya



- 47** **BKI GUIDELINE FOR FLOATING LIQUEFIED GAS TERMINAL**



- 57** **PENERAPAN SISTEM SCR (SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION) PADA KAPAL GUNA MENGURANGI PENCEMARAN UDARA DILAUT**

- 65** **PENILAIAN RESIKO (RISK ASSESSMENT) PADA STRUKTUR ETB JACKET PLATFORM**
TERHADAP BAHAYA KELALAHAN (FATIGUE HAZARD)
UNTUK PERPANJANGAN UMUR OPERASI

- 74** **DAFTAR LENGKAP KANTOR PT. BIRO KLASIFIKASI INDONESIA**

- 76** **DAFTAR RULES & GUIDELINES BKI**

- 79** **PEDOMAN PENULISAN JURNAL TEKNIK BKI**

Kecelakaan KMP. Laut Teduh 2 di Perairan Sekitar Pulau Tempurung - Selat Sunda, Banten 28 Januari 2011

Disusun oleh :

1. Teguh Sastrodiwongso

- Lektor Kepala Universitas Darma Persada, Senior Investigator PKT Laut KNKT
- Hakim Anggota Mahkamah Pelayaran 1993-2003;
- Direktur Teknik BKI 1983-1993;
- Direktur Teknik & Produksi PN/PTDok dan Perkapalan Surabaya 1967-1981

2. Aleik Nurwahyudy

- Investigator PKT Laut KNKT

1. Pendahuluan

Awal Juli 2012 yang lalu beberapa televisi swasta menayangkan terjadinya kebakaran besar pada kerangka kapal KMP. Laut Teduh 2 yang sedang dipotong-potong untuk scrapping di tambatan pantai di Merak dan sejumlah mobil pemadam kebakaran harus dikerahkan dari darat untuk memadamkan api.

KMP. Laut Teduh 2 sebelum di-'scrap' adalah sebuah kapal Ferry Ro-Ro berukuran 4216 GT berbendera Indonesia pengangkut kendaraan & penumpang untuk lintas penyeberangan Merak-Bakauheni dan pada tanggal 28 Januari 2011 mengalami musibah kebakaran hebat saat beroperasi dan menjadikan pengoperasian terakhirnya. Dalam kecelakaan ini, ada korban jiwa dan kemudian kapal dinyatakan total loss.

Mahkamah Pelayaran telah melaksanakan sidang pemeriksaan lanjutan atas kasus kecelakaan terbakarnya KMP. Laut Teduh 2 tanggal 28 Januari 2011 tersebut dan telah menerbitkan Surat Keputusannya Nomor : HK.2010/12/VIII/MP.11 tertanggal 11 Agustus 2011. Dalam Putusannya, antara lain : musibah terjadi karena terbakarnya bus sebagai muatan kapal yang berada di car deck bawah kemudian menyebar ke kendaraan lainnya sehingga mengakibatkan terbakarnya kapal dan mejatuhkan sangsi kepada Nakhoda yang memiliki Sertifikat Keahlian Pelaut ANT-III dengan mencabut sementara Sertifikatnya tersebut untuk bertugas sebagai Nakhoda di kapal niaga berbendera Indonesia selama jangka waktu empat bulan.

Sementara itu Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) telah melakukan investigasi atas kecelakaan kapal

laut ini dan telah menerbitkan Final Report (KNKT-11-01-01-03). Dari analisis KNKT terhadap seluruh barang bukti dan informasi yang didapatkannya, berkesimpulan bahwa kebakaran berawal dari satu kendaraan bus yang berada di car deck bawah. Diperkirakan api dipicu dari sistem kelistrikan dari kendaraan bus tersebut yang mesin dan AC dalam keadaan hidup dan selanjutnya apinya menyambar ke bagian lain kendaraan tersebut kemudian menjalar kesekitarnya yang berakibat fatal terbakarnya kapal.

Berdasarkan faktor-faktor yang berkontribusi terhadap terbakarnya KMP. Laut Teduh 2, KNKT telah menyampaikan beberapa rekomendasi kepada pihak-pihak terkait (regulator, operator kapal dan awak kapal) agar selanjutnya dapat dilaksanakan sebagai upaya untuk mencegah terjadinya kecelakaan yang serupa di masa mendatang.

Berikut ini akan disajikan tinjauan kasus kecelakaan kapal di pengoperasiannya yang terakhir tersebut dengan mengacu pada Keputusan Mahkamah Pelayaran atas terbakarnya KMP. Laut Teduh 2 dan hasil investigasi KNKT yang dihubungkan dengan penerapan Undang-Undang Pelayaran Nomor 17 Tahun 2008 dan Kitab Undang-Undang Hukum Dagang (KUHD) warisan Belanda (Wetboek van Koophandel yang mulai berlaku tanggal 17 Juli 1938 dan sekarang masih diberlakukan) yang dipakai Mahkamah Pelayaran dalam mejatuhkan putusannya.

Diharapkan selain tentang peristiwanya, tulisan ini juga dapat memberikan gambaran tentang peran dan fungsi dari kedua Instansi Pemerintah tersebut dalam upaya menambah wawasan bagi generasi muda yang berprofesi terkait dengan keselamatan kapal.

2. Data Kapal KMP.LAUT TEDUH 2

Jenis / konstruksi kapal	: Ferry Ro-Ro tipe double ended / konstruksi baja
IMO Number	: 8611611
Panjang kapal keseluruhan (Loa)	: 95,81 m
Panjang antar garis tegak (Lpp)	: 89,66 m
Lebar (Breadth mould)	: 15,00 m
Tinggi (Depth mould)	: 9,85 m
Sarat maksimum (Maximum draft)	: 3,614 m
Gross Ton / Net Ton	: 4216 / 1576
Deadweight	: 1315 ton
Tahun pembangunan kapal	: 1988
Galangan kapal pembangun	: Pallcon Shipyard, Sunderland, Inggris
Tahun pendaftaran (bendera Indonesia)	: 1997

Kapal ini adalah satu dari 4 sister ships (double ended Ro-Ro passenger vessel) yang telah dibangun dan KMP. Rosmala yang sampai sekarang masih beroperasi adalah sister ship dari KMP. Laut Teduh 2

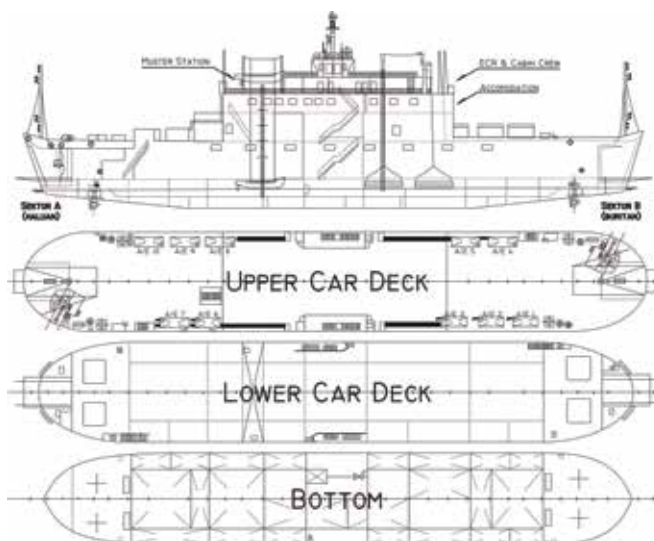
Sampai dengan saat kejadian, Kapal yang sebelumnya telah pernah di-Klaskan DnV, masih dalam proses penerimaan Klas Biro Klasifikasi Indonesia (BKI, Class was being contemplated).



Gb.1 KMP.Laut Teduh 2 sebelum terbakar.

Kapal penyeberangan tipe ini memungkinkan kapal dapat bergerak maju atau mundur di lintas penyeberangannya tanpa harus melakukan olah gerak memutar haluan. Sistem penggerak kapal menggunakan 4 unit rudder propeller masing-masing 2 unit pada ujung kapal. Masing-masing rudder propeller menggerakkan 1 unit baling-baling berdaun 4 jenis fixed pitch propeller.

Sistem penggerak dan olah gerak kapal dengan menggunakan 4 unit rudder propeller tersebut dengan merek Schottle



Gb.2 Gambar General Arrangement KMP.Laut Teduh 2

memakai sistem electric azimuth circle sehingga baling-baling dapat diputar 360o. Dengan demikian kapal tidak memerlukan daun kemudi dan didalam keempat ruang mesin kemudi tidak perlu steering gear untuk menggerakkan daun kemudinya melainkan terpasang instalasi penggerak rudder propeller-nya. Orisinilnya rudder propeller tersebut keempat-empatnya digerakkan oleh elektro motor (electric propulsor) yang ditempatkan di masing-masing ruang mesin kemudi (steering gear room).

Dengan sistem propulsi yang terpasang, bila keempat unit rudder propeller dijalankan, maka kecepatan kapal dapat mencapai maksimum 12 knots.

Setelah beroperasi di Indonesia salah satu dari 4 unit tersebut rusak electric propulsor-nya dan kemudian dilakukan perombakan menggantikannya dengan 1 unit motor Diesel (MAN high speed Diesel engine) sebagai penggerak rudder propellernya.

Dalam proses penerimaan Klas Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), tentu surveyor BKI telah melakukan survey di kapal, namun tidak ada di laporan surveynya yang menyatakan adanya perombakan tersebut.

Suplai daya listrik untuk elektro motor penggerak rudder propeller serta sistem kelistrikan lainnya, di kapal terdapat 10 unit generator listrik yang digerakkan motor Diesel merek Cummins dengan kapasitas masing-masing 275 kW pada putaran 1800 rpm , semuanya ditempatkan di upper car deck. Pada saat kejadian, 7 unit generator listrik dioperasikan, sedangkan 3 unit lainnya dalam kondisi rusak.

Keadaan terakhir sebelum musibah kebakaran, 3 unit rudder propeller digerakkan oleh elektro motor, sedangkan 1 unit rudder propeller pada sisi kanan buritan (Starboard aft) yang orisinil-nya digerakkan elektro motor seperti telah disebut diatas, dirombak menjadi secara langsung digerakkan oleh 1 unit motor MAN high speed Diesel engine yang dipasang di ruang mesin kemudi (steering gear room).

Motor Diesel tersebut sebagai salah satu "main engine" dipasang di ruang mesin kemudi buritan sisi kanan dan menjadi "kamar mesin" untuk unit tersebut. Ruangan "kamar mesin" yang relatip sangat sempit ini tidak dilakukan perombakan guna memenuhi persyaratan teknis agar motor Dieselnnya dapat 'bernafas'/'menghirup udara yang cukup dan terhadap kerawanan bahaya timbulnya kebakaran. Oleh sementara ahli Teknik Kapal secara teknis kapal ini dinyatakan rawan terhadap timbulnya kebakaran dan saat bertolak sebelum kejadian, kapal dalam kondisi unseaworthy.

3. Terjadinya Peristiwa Kebakaran Kapal

Tanggal 28 Januari 2011, KMP. Laut Teduh 2 beberapa saat setelah meninggalkan pelabuhan penyeberangan Merak menuju Bakauheni mengalami musibah kebakaran hebat.

Adapun hasil investigasi KNKT atas kejadiannya, secara singkat sebagai berikut.

Pukul 03.19 WIB, proses pemuatan penumpang dan kendaraan selesai. Kapal selanjutnya bertolak dari Pelabuhan Merak menuju Pelabuhan Bakauheni. Kapal melaju dengan kecepatan rata-rata 6-7 knot. Sebagian sopir kendaraan dan penumpang menuju ruang akomodasi, namun beberapa orang masih ada yang tetap tinggal di geladak kendaraan.

Pukul 03.50 WIB, kapal berada di sekitar Pulau Tempurung atau sekitar 5 Nmil dari Pelabuhan Merak. Seorang saksi penumpang yang berada di bagian tengah Lower Car Deck melihat asap putih muncul. Penumpang lainnya yang mengetahui hal tersebut mulai berupaya untuk melakukan penyelamatan diri dan berusaha memberitahukan kejadian kebakaran kepada awak kapal. Awak kendaraan yang berada di dalam kendaraan terbangun saat mendengar penumpang lainnya mulai ribut dan keluar dari kendaraannya.

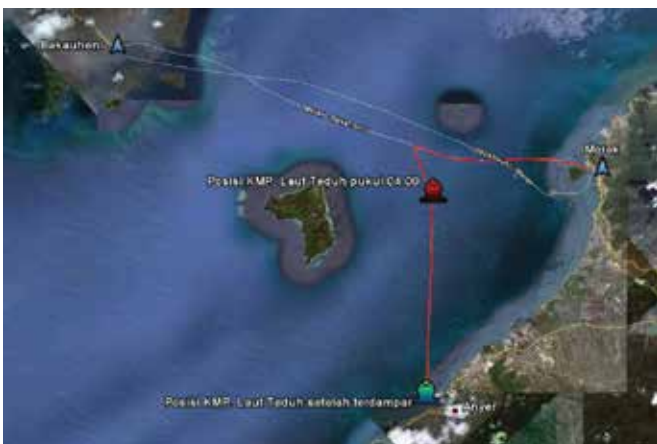
Sekitar pukul 04.00 WIB, mengetahui adanya informasi kebakaran, atas perintah KKM dua orang Juru Minyak yang sedang bertugas jaga di upper car deck segera berupaya mencari lokasi titik api kebakaran dan melakukan pemadaman. Selanjutnya mereka menuju ke lower car deck dan menemukan salah satu kendaraan telah mengeluarkan asap. Pemadaman segera dilakukan dengan menggunakan APAR (alat pemadam api ringan) jenis CO2 dan dry chemical powder

Pada saat itu lower car deck sudah mulai gelap tertutup asap. Kebakaran yang terjadi menimbulkan asap hitam tebal dan mempersulit proses pemadaman. Awak kapal tidak berhasil memadamkan api dan selanjutnya berupaya untuk melakukan evakuasi. Kebakaran bertambah besar, selanjutnya menyambar ke kendaraan-kendaraan lain dan meluas ke konstruksi geladak upper car deck berikut kendaraan yang berada di geladak tersebut.

Setelah menerima berita kebakaran di lower car deck dari penumpang, KKM segera melaporkan kepada Nakhoda di anjungan melalui radio komunikasi. Nakhoda yang mendapat berita kebakaran segera melaporkan kejadian kebakaran kepada petugas Ship Traffic Controller (STC) melalui saluran komunikasi/frekuensi STC 8250.

Awak kapal lainnya yang hendak memadamkan api di lower car deck memutuskan untuk meninggalkan lower car deck karena asap tebal, kemudian berusaha memadamkan api yang muncul dari bengkel yang ada di upper car deck. Posisi bengkel itu tepat di atas area timbulnya kebakaran. Tidak lama kemudian terjadi ledakan dari dalam bengkel yang membuat awak kapal memutuskan meninggalkan lokasi kebakaran itu dan segera menuju ke geladak atas.

Sebagian penumpang sudah ada yang berupaya evakuasi ke luar kapal, penumpang mulai panik saat mendengar ledakan-ledakan dan mulai melompat ke air. Awak kapal berusaha menurunkan lifeboat dan inflatable life raft (ILR) dari sisi kiri namun terhalang asap, kemudian menuju ke



Gb.3 Lokasi terjadinya terbakarnya KMP. Laut Teduh 2



Gb.4 KMP.Laut Teduh 2 setelah terbakar.



Gb. 5 Kerusakan konstruksi upper car deck yang mengalami deformasi akibat paparan panas dari bagian bawah

sisi kanan dan menurunkan 1 unit lifeboat beserta sekitar 30 pelayar di atasnya. Selain itu 3 unit ILR juga diturunkan namun hanya 2 unit yang mengembang.

KKM mematikan 3 unit generator set, sementara itu kebakaran telah menyambar ke generator kapal yang berada di upper car deck dan menyebabkan kapal mengalami black out (aliran listrik kapal padam keseluruhannya). Kebakaran terus meluas dan mencapai ruang akomodasi penumpang yang berada di geladak ketiga sampai ke anjungan kapal.

Akibat dari arus Selat Sunda, KMP. Laut Teduh 2 hanyut ke arah Selatan dan akhirnya kandas di perairan sekitar Anyer, Banten atau sekitar 5 Nmil sebelah Selatan Pelabuhan Merak.

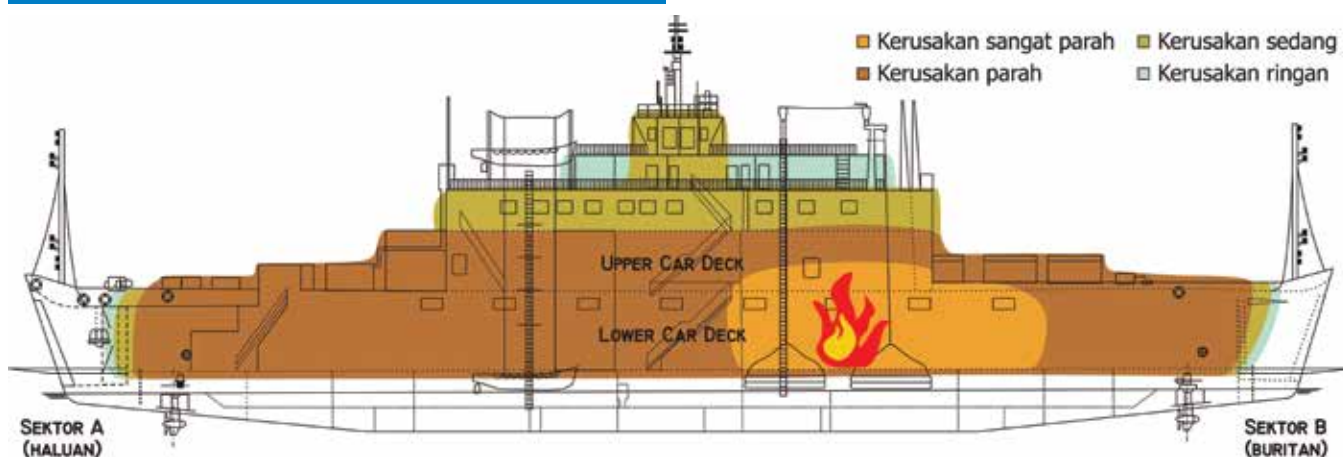
Musibah kebakaran kapal ini mengakibatkan 27 orang penumpang meninggal (14 orang meninggal karena tenggelam dan 13 orang karena terbakar), 22 luka berat, 241 luka ringan, 164 selamat tidak mengalami cedera dan kapal dinyatakan total loss.

Dari pemeriksaan ulang terakhir, jumlah korban selamat tercatat sebanyak 427 (empat ratus dua puluh tujuh) orang.

4. Pemeriksaan Lanjutan dan Putusan Mahkamah Pelayaran

Berdasarkan Undang-Undang Pelayaran No.17 tahun 2008, pasal 251, Mahkamah Pelayaran memiliki fungsi untuk melaksanakan pemeriksaan lanjutan atas kecelakaan kapal dan menegakkan kode etik profesi dan kompetensi Nakhoda dan/atau perwira kapal setelah dilakukan pemeriksaan pendahuluan oleh Syahbandar.

Dalam kasus musibah terbakarnya KMP.Laut Teduh 2 yang terjadi pada tanggal 28 Januari 2011, terhadap Nakhoda dan



Gb.6 Identifikasi titik awal kebakaran dan kerusakan akibat kebakaran

beberapa Anak Buah Kapal (ABK) telah dilakukan Pemeriksaan Pendahuluan oleh Tim Pemeriksa Kantor Administrator Pelabuhan Kelas I Banten dan dituangkan dalam Berita Acara Pemeriksaan Pendahuluan (BAPP). Sedangkan Mahkamah Pelayaran pada tanggal 4 dan 5 Mei 2011 telah melaksanakan Sidang Pemeriksaan Lanjutan kecelakaan kapal terbakarnya KMP. Laut Teduh 2 terhadap Nakhoda sebagai Tersangkut dan beberapa ABK sebagai Saksi.

Lebih lanjut dalam pasal 253 UU Pelayaran No.17 Tahun 2008 tercantum ³⁾ :

Ayat (1) dalam melaksanakan pemeriksaan lanjutan kecelakaan kapal sebagaimana dimaksud dalam pasal 251, Mahkamah Pelayaran bertugas :

- a. meneliti sebab-sebab kecelakaan kapal dan menentukan ada atau tidak adanya kesalahan atau kelalaian dalam penerapan standar profesi kepelautan yang dilakukan oleh Nakhoda dan/atau perwira kapal atas terjadinya kecelakaan kapal ; dan
- b. merekomendasikan kepada Menteri pengenaan sanksi administratif atas kesalahan atau kelalaian yang dilakukan Nakhoda dan/atau perwira kapal.

Ayat (2) Sanksi administratif sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b, berupa :

- a. peringatan; atau
- b. pencabutan sementara sertifikat keahlian pelaut.

Dalam penerapan aturan perundangan tersebut di kasus ini, berdasarkan hasil penelitian dan pemeriksaan terhadap seluruh berkas dalam BAPP dan Sidang Pemeriksaan Lanjutan kecelakaan kapal terbakarnya KMP.Laut Teduh 2 , Mahkamah Pelayaran berpendapat ¹⁾ :

- Sebab terjadinya kebakaran disebabkan oleh bus yang terbakar di car deck bawah dan merembet ke kendaraan lainnya;
- Tersangkut Nakhoda dapat dipersalahkan atas dasar :
 - a. Terlambat dalam mengantisipasi kebakaran yang terjadi pada bus di car deck bawah karena kurang terlaksananya manajemen keselamatan kapal, informasi awal diketahui dari salah seorang penumpang pada saat api sudah membesar;
 - b. Kurang optimal dalam penanggulangan kebakaran;
 - c. Kurang optimal dalam melakukan abandon ship.

Dengan demikian Mahkamah Pelayaran berpendapat bahwa Tersangkut Nakhoda telah bertindak tidak sesuai pasal 342 dan pasal 343 KUHD (Kitab Undang-Undang Hukum Dagang) dan seperti yang telah disebutkan sebelumnya, dalam Putusan atas kasus ini Mahkamah Pelayaran telah menjatuhkan sanksi administratif kepada Nakhoda yang memiliki Sertifikat Keahlian Pelaut ANT-III dengan mencabut sementara Sertifikatnya tersebut untuk bertugas sebagai Nakhoda di kapal niaga berbendera Indonesia selama jangka waktu empat bulan.

Pasal 342 KUHD tertulis seperti berikut ini ⁴⁾ :

Nakhoda diwajibkan bertindak dengan kecakapan dan kecermatan serta kebijaksanaan yang sedemikian sebagaimana diperlukan untuk melakukan tugasnya. Ia bertanggung jawab untuk segala kerugian yang diterbitkan olehnya dalam jabatannya kepada orang lain, karena kesengajaan atau kesalahan yang kasat.

Adapun pasal 343 KUHD tertulis sebagai berikut ⁴⁾ :

Nakhoda diwajibkan mentaati dengan cermat segala peraturan yang lazim dan ketentuan yang berlaku guna menjamin kesanggupan berlayar dan keamanan kapalnya, keamanan para penumpang serta keamanan pengangkutan muatannya. Tak bolehlah ia menempuh suatu perjalanan, kecuali apabila kapal yang sanggup melaksanakan perjalanan itu, telah dilengkapi sepatutnya dan dianakbuahi secukupnya.

Sedangkan putusan sanksi administratif Mahkamah Pelayaran kepada Nakhoda KMP.Laut Teduh 2 sudah sesuai dengan pasal 373a KUHD yang menyatakan⁴⁾ bahwa: *seorang Nakhoda yang terhadap kapal, muatan atau para penumpang telah melakukan sesuatu kesalahan, iapun dengan keputusan Mahkamah Pelayaran, selama suatu waktu tertentu, yang tidak melebihi dua tahun, dapat dipecat dari kekuasaannya untuk berlayar sebagai Nakhoda dalam sebuah kapal Indonesia.*

5. Investigasi Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT)

Dalam pasal 256 di Bagian Keempat UU Pelayaran Nomor 17 tahun 2008 tentang

Investigasi Kecelakaan Kapal tercantum tiga ayat sebagai berikut ³⁾ :

- (1) Investigasi kecelakaan kapal dilakukan oleh Komite Nasional Keselamatan Transportasi untuk mencari fakta guna mencegah terjadinya kecelakaan kapal dengan penyebab yang sama.
- (2) Investigasi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan

terhadap setiap kecelakaan kapal.

- (3) Investigasi yang dilakukan oleh Komite Nasional Keselamatan Transportasi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) tidak untuk menentukan kesalahan atau kelalaian atas terjadinya kecelakaan kapal.

Dalam kasus musibah terbakarnya KMP. Laut Teduh 2 yang terjadi pada tanggal 28 Januari 2011 sekitar pukul 04.00 WIB, KNKT menerima berita kecelakaan kapal dari POSKODALOPS Direktorat Jenderal Perhubungan Laut No. 07/R.Ops/I-2011 tanggal 28 Januari 2011. Berdasarkan berita kecelakaan kapal tersebut, KNKT memberangkatkan tim Investigasi pada hari itu juga dengan Surat Perintah Tugas No. KNKT/001/I/SPT. KL/2011 tertanggal 28 Januari 2011. Proses investigasi dimulai dengan melakukan pengumpulan data awal kecelakaan yang berupa data dan informasi kapal, siji awak kapal, jumlah muatan, peralatan keselamatan dan permesinan kapal. Tim Investigasi juga telah melakukan wawancara terhadap awak kapal, penumpang kapal, Nakhoda kapal yang melakukan penyelamatan korban, DPA, petugas STC, Marine Inspector dan Syahbandar pelabuhan penyeberangan Merak.

Tanggal 30 Januari 2011, tim Investigasi KNKT melakukan pemeriksaan di atas KMP. Rosmala yang merupakan sister ship dari KMP. Laut Teduh 2. Dengan dibantu awak kapal KMP. Laut Teduh 2, tim Investigasi melakukan simulasi kejadian kebakaran, pemeriksaan struktur kapal dan perlengkapan pemadam kebakaran yang ada di kapal. Simulasi dilakukan dengan memperhatikan posisi kendaraan di lower car deck, sistem pemantau dan penanggulangan kebakaran (fire system) dan posisi peralatan pemadam kebakaran yang tersedia di kapal serta ketersediaan peralatan keselamatan berikut jalur evakuasi penumpang. Dari simulasi dimaksud, tim investigasi dapat memperoleh gambaran tentang proses kejadian kebakaran.

Tanggal 2 Februari 2011, proses pemadaman dan evakuasi korban telah selesai dilaksanakan dan selanjutnya tim Investigasi KNKT melakukan pemeriksaan onboard terhadap kondisi fisik dan inventarisasi kerusakan akibat kebakaran di kapalnya untuk bahan analisis lebih lanjut.

Tanggal 14 Februari 2011, tim Investigasi KNKT melakukan wawancara lanjutan dengan saksi-saksi yaitu Nakhoda dan Mualim IV serta awak dari angkutan bus yang diindikasikan merupakan titik awal terjadinya kebakaran.

Dalam investigasi ini KNKT menitikberatkan pada implementasi aturan keselamatan pelayaran penyeberangan terutama pada pengaturan muatan kendaraan serta penumpang di

geladak kendaraan. Selain itu investigasi juga menekankan pada manajemen kondisi darurat yang diterapkan pada saat kecelakaan terjadi.

Dari analisis 2) terhadap seluruh barang bukti dan informasi yang didapat menunjukkan bahwa awal kebakaran berawal dari kendaraan bus. Diperkirakan api dipicu dari sistem kelistrikan dari salah satu kendaraan yang mesin dan AC dalam keadaan hidup dan selanjutnya apinya menyambar ke bagian lain kendaraan tersebut dan akhirnya terjadilah musibah kapal terbakar.

Selanjutnya disimpulkan 2), bahwa faktor-faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya kecelakaan terbakarnya kapal adalah sebagai berikut ini.

- Karena masih ditemukan penumpang yang tetap tinggal di geladak kendaraan atau di dalam kendaraan. Hal ini merupakan potensi penyebab kebakaran di geladak kendaraan. Ditambah lagi kontrol yang lemah dan ketegasan dari awak kapal menegakkan peraturan yang melarang penumpang berada di kendaraannya.
- Instalasi pipa bahan bakar yang terpasang di bawah konstruksi upper car deck tepat di atas bus yang terbakar menyebabkan kebakaran semakin cepat membesar.
- Tidak diterapkannya patroli kebakaran terutama di ruang geladak kendaraan sebagai pendeteksi awal terjadinya kebakaran yang berakibat pada keterlambatan informasi kebakaran yang diterima awak kapal.
- Proses pemadaman yang dilakukan pada saat kejadian berjalan tidak efektif dikarenakan posisi truk yang sangat rapat mempersulit penanganan dari awak kapal.
- Peralatan pemadam api tetap yang ada di geladak kendaraan tidak dapat difungsikan secara efektif untuk menanggulangi kebakaran.
- Peralatan pemadam kebakaran seperti halnya baju tahan api dan breathing apparatus tidak digunakan sehingga tidak dapat memberikan perlindungan kepada awak kapal yang berusaha memadamkan kebakaran.
- Kurangnya pemahaman awak kapal dalam penanganan kebakaran sebagai akibat dari tidak dilaksanakannya simulasi pelatihan keselamatan seperti latihan kebakaran (fire drill) secara berkala.
- Tidak berjalannya manajemen tindakan darurat baik dari

pihak operasional di atas kapal maupun manajemen keselamatan di darat untuk menangani kondisi darurat kebakaran di kapal.

- Sosialisasi keselamatan kepada penumpang dan pengemudi tidak berjalan secara efektif sehingga informasi potensi bahaya keselamatan operasi kapal tidak diketahui oleh seluruh pelayar.
- Muatan di atas truk melebihi kapasitas dan tertutup terpal sehingga menyulitkan pengawasan dalam hal kebenaran isi muatan truk, sehingga pihak operator pelayaran hanya mengandalkan pernyataan dari pemilik truk.
- Pemeriksaan yang dilakukan oleh petugas pelabuhan kurang efektif karena hanya bersifat administratif, sehingga tidak dapat memverifikasi secara tepat jenis-jenis barang yang akan masuk ke kapal.

Berdasarkan faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kecelakaan laut terbakarnya kapal ini, KNKT merekomendasikan 2) hal-hal berikut kepada pihak-pihak terkait untuk selanjutnya dapat diterapkan sebagai upaya untuk mencegah terjadinya kecelakaan yang serupa di masa mendatang.

• Regulator - Administrator Pelabuhan

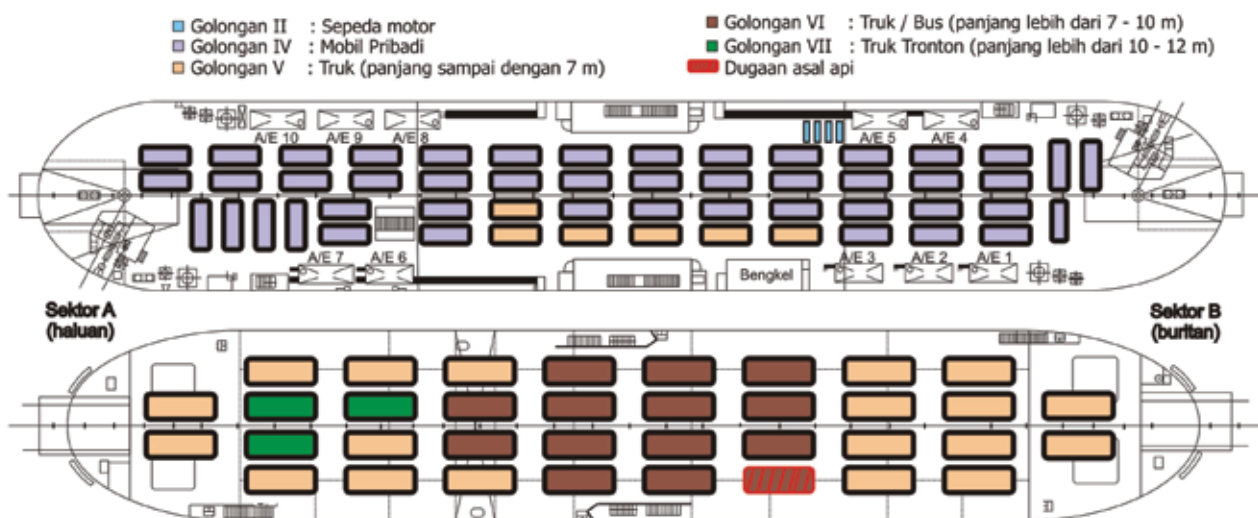
1. Meningkatkan pengawasan terhadap proses penerbitan Surat Persetujuan Berlayar (SPB);
2. Meningkatkan pengawasan terhadap pelaksanaan sistem manajemen keselamatan (SMK) di atas kapal.

• Regulator - Penyelenggara Pelabuhan Penyeberangan

1. Penyempurnaan aturan standar pelayanan minimal pengoperasian kapal penyeberangan, seperti halnya pelarangan penumpang di geladak kendaraan selama kapal berlayar dengan menekankan pada pemberian sanksi yang jelas dan tegas;
2. Mengupayakan sistem pemantauan untuk dapat mengetahui jumlah dan identitas penumpang secara tepat yang berada di atas kapal;
3. Pengawasan terhadap sistem pemuatan di antaranya penerapan jarak antara kendaraan di dek kendaraan, berat dan tinggi muatan maksimum di setiap kendaraan truk serta pengawasan terhadap penempatan kendaraan di kapal (stowage plan) untuk kepentingan stabilitas kapal;
4. Melakukan pengawasan terhadap barang-barang yang dimuat di dalam kendaraan terutama barang-barang yang berkategori barang berbahaya;
5. Melakukan pemantauan secara ketat terhadap tinggi muatan di kendaraan truk yang dapat menghalangi efektifitas kinerja pemadam api tetap (sprinkler).

• Operator Kapal Penyeberangan

1. Menerapkan aturan secara ketat untuk melarang



Gb. 7: Layout kendaraan yang dimuat di geladak upper car deck dan lower car deck KMP Laut Teduh 2 pada saat terjadinya musibah tgl.28 Januari 2011

keberadaan penumpang baik penumpang biasa maupun sopir/kernet di geladak kendaraan, larangan merokok di geladak kendaraan dan menjalankan mesin kendaraan selama pelayaran;

2. Meningkatkan peran DPA dalam hal pelaksanaan dan pengawasan sistem manajemen keselamatan kapal;
3. Peningkatan kemampuan awak kapal dengan melaksanakan pelatihan kondisi darurat secara berkesinambungan, khususnya kemampuan pengendalian penumpang kondisi darurat crowd and crisis management;
4. Meningkatkan sistem ronda/jaga keliling untuk memantau potensi-potensi bahaya utamanya di geladak kendaraan;
5. Pengaturan jarak antara kendaraan sesuai ketentuan yang berlaku;
6. Melaksanakan sistem perawatan dan pemeliharaan sesuai ketentuan-ketentuan dan buku petunjuk (manual book) terutama untuk peralatan pemadam kebakaran dan semua sistem yang mendukungnya;
7. Memasang peralatan pendeteksi awal kebakaran yang sesuai untuk geladak kendaraan.

• **Awak Kapal**

1. Memastikan bahwa tidak terdapat lagi penumpang yang tetap tinggal di dalam kendaraannya atau di geladak kendaraan;
2. Memaksimalkan patroli kebakaran sebagai upaya dini pencegahan terjadinya kebakaran di geladak kendaraan;
3. Memastikan seluruh peralatan pemadam kebakaran berfungsi dengan baik dan dapat dioperasikan dengan cepat.

Penutup

Dari apa yang telah disajikan secara ringkas tentang musibah terbakarnya KMP.Laut Teduh 2 dan tentang apa yang telah dikerjakan Mahkamah Pelayaran dan KNKT dalam menangani

kasus kecelakaan kapal laut ini, dapatlah diketahui bahwa kedua Institusi tersebut telah melaksanakan kewajibannya sesuai dengan aturan perundangan yang berlaku.

Tentang sebab terjadinya kebakaran, kedua Institusi tersebut menyatakan hal yang sama, yakni disebabkan oleh bus yang terbakar di car deck bawah. Hal ini menepis pendapat bahwa ada kemungkinan lain dikarenakan rawannya terjadi kebakaran di ruang mesin kemudi buritan sisi kanan yang ditempati motor Diesel penggerak rudder propeller.

Mahkamah Pelayaran telah meneliti sebab-sebab kecelakaan dan menentukan adanya kesalahan atau kelalaian dalam penerapan standar profesi kepelautan yang dilakukan oleh Nakhoda kapal dan telah menjatuhkan sanksi administratif dengan mencabut sementara Sertifikat Keahlian Pelaut ANT-III yang dimilikinya untuk bertugas sebagai Nakhoda di kapal niaga berbendera Indonesia selama jangka waktu empat bulan.

Laporan hasil investigasi KNKT, telah sesuai dengan aturan perundangan yang berlaku yakni dengan tidak memberikan kesimpulan adanya kesalahan atau kelalaian atas terjadinya kecelakaan kapal.

Investigasi yang telah dilakukan KNKT, benar-benar dilaksanakan untuk mencari fakta guna mencegah terjadinya kecelakaan kapal dengan penyebab yang sama dengan menyampaikan rekomendasi kepada pihak-pihak terkait untuk selanjutnya dapat dilaksanakan sebagai upaya untuk mencegah terjadinya kecelakaan yang serupa di masa mendatang.

Referensi

- 1) *Mahkamah Pelayaran RI, Putusan Nomor : HK.2010/12/VIII/MP.11 tentang Kecelakaan Kapal Terbakarnya KMP.Laut Teduh 2 di Perairan Pulau Tempurung, Merak, Banten;*
- 2) *Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), Laporan Akhir Nomor KNKT-11-01-01-03 : Investigasi Kecelakaan Kapal Laut Terbakarnya KMP.Laut Teduh 2 di Perairan Sekitar Pulau Tempurung Selat Sunda, Banten 28 Januari 2011;*
- 3) *Undang-Undang Pelayaran Nomor 17 Tahun 2008;*
- 4) *Prof.R.Subekti,SH, R.Tjitrosudibio : Kitab Undang-Undang Hukum Dagang dan Undang-Undang Kepailitan, PT.PERTJA Cetakan ke-21-Tahun 1993.*

ANALISA KESELAMATAN KAPAL FERI RO-RO DITINJAU DARI DAMAGE STABILITY

SAFETY ANALYSIS ON RO-RO FERRY BASED ON DAMAGE STABILITY



Moch. Zaky

- Peneliti Bidang Hidrodinamika dan Stabilitas Kapal
- Penelitian & Pengembangan, PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero)
- Email: zaky@bki.co.id

Abstract

Safety analysis has been done for ro-ro ferry ship based on damage stability calculation by using both lost buoyancy and added weight method for intermediate flooding. The harmonized SOLAS regulations on subdivision and damage stability, as contained in SOLAS Consolidated Edition 2009 Chapter II-1 concerning R index (required subdivision index) and A index (attained subdivision index), are based on a probabilistic concept to be applied for ro-ro ferry with 37 metres in length non watertight

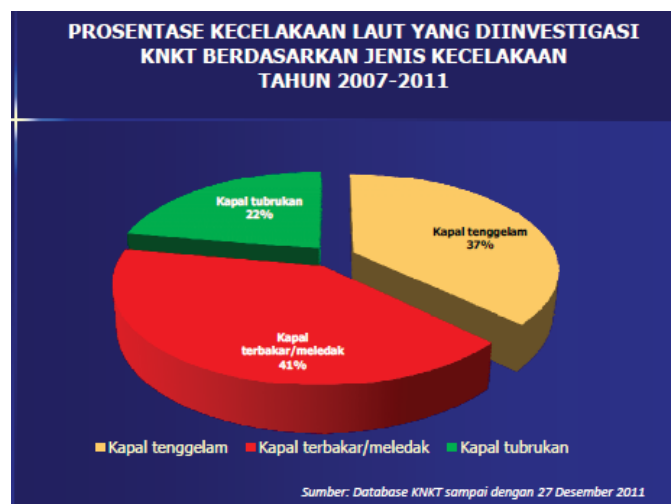
cardeck. There are two indexes will be compared to comply with SOLAS requirements on chapter II, the index R (required subdivision) represents and the index A (attained) depend on π factor represents the probability of the compartment and group compartments to be flooded and s_i factor represents the survivability of the ship when the compartment flooded. The results of the calculation is the index R 0.742 and the index A 0.095, to increase A index, It is proposed to fit additional bulkhead for decreasing compartment may be flooded and applies of some additional watertight compartments.

Key words: ro-ro ferry, damage stability, subdivision, lost buoyancy, added weight, probability.

1. Pendahuluan

Setiap kapal dapat mengalami kerusakan pada lambung kapal yang disebabkan oleh beberapa faktor antara lain tabrakan, kandas atau terjadi ledakan. Demikian pula kapal feri ro-ro yang sangat rentan terhadap terjadinya kebocoran. Selama periode 2007 – 2011 telah terjadi kecelakaan laut di perairan Indonesia dengan jenis kecelakaan yaitu kapal tubrukan 22%, kapal tenggelam 37% dan kapal terbakar/meledak 41% (Ditjen Hubla, 2011). Data lain menunjukkan bahwa penyebab kecelakaan kapal di Indonesia selama 2007 – 2011 yaitu faktor cuaca 59% dan faktor manusia 41% (Ditjen Hubla, 2011).

Salah satu contoh yang paling aktual tragedi tenggelamnya kapal feri ro-ro KM. Levina 1 dan KM. Senopati Nusantara yang merenggut nyawa ratusan penumpang kedua kapal tersebut. Salah satu hasil analisa dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) menyimpulkan penyebab kapal tenggelam adalah masuknya air ke badan kapal sehingga menyebabkan kapal miring dan langsung tenggelam (KNKT, 2007). Hal ini diakibatkan kapal tidak memiliki stabilitas yang baik karena kapal tidak mampu kembali ke posisi semula (Rawson dan



Gambar 1 Data kecelakaan kapal 2007-2011
sumber: Ditjen Hubla, 2011

Tupper, 2001).

Mengacu pada data register BKI (Sriono, 2007) untuk kapal jenis feri sekitar 47 kapal 21,6% berumur lebih dari 25 tahun. Sisanya 78,4% atau sekitar 170 kapal berumur kurang dari 25 tahun. Kapal penumpang jenis feri ro-ro hanya 4 kapal (13%) berumur lebih dari 25 tahun. Selanjutnya 27 kapal



Gambar 2 Kapal feri ro-ro sumber: www.indonesianship.com

(87%) berumur kurang dari 25 tahun. Dari total kapal tipe feri sebanyak 255 kapal yang dibangun diluar Indonesia sebanyak 121 kapal (55,8%). Kapal feri dengan pembangunan di Jepang menempati jumlah terbanyak yaitu 92 kapal atau 42% dari total kapal feri. Selain Jepang tercatat beberapa galangan pembangun kapal feri antara lain Belanda, Norwegia, Malaysia, Singapura, Australia, New Zealand, Swedia dan Amerika.

Pada Gambar 2 diperlihatkan gambaran kondisi kapal feri ro-ro yang saat ini beroperasi di Indonesia, dimana kebanyakan geladak kendaraan tidak kedap air karena banyaknya bukaan yang ada di sekeliling kapal, sehingga apabila dihitung stabilitasnya baik intact maupun damage tidak memenuhi kriteria sesuai ketentuan IMO. Hal ini disebabkan kurangnya volume kedap khususnya geladak kendaraan yang seharusnya menambah buoyancy ketika kapal mengalami oleng atau kebocoran.

Hal yang paling mungkin dapat dilakukan oleh perancang kapal adalah berusaha semaksimal mungkin agar ketika mengalami kebocoran kapal masih dapat mengapung dan memiliki stabilitas yang baik (Vossnack dan Boonstra, 1992). Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah dengan membagi kapal menjadi beberapa ruangan dengan memberikan sekat kedap pada kapal secara melintang dan memanjang. Adapun fungsi dari pembagian ruangan ini adalah untuk mengurangi hilangnya stabilitas melintang dan memanjang akibat kebocoran, melindungi kerusakan pada muatan dan mengurangi hilangnya daya apung cadangan kapal (Nickum, 1988).

Untuk mengetahui pengaruh dari kebocoran pada kompartemen kapal yang berhubungan langsung dengan air diluar maka digunakan metode lost buoyancy. Pada metode lost buoyancy ini displasemen sisa kapal tidak berubah atau tetap, yang berubah hanya bidang bagian yang tercelup. Oleh karena itu

metode ini juga disebut dengan constant displacement method (Semyonov dkk, 1963). Sedangkan untuk mengetahui titik berat setelah terjadinya kebocoran pada kondisi intermediate stage, maka digunakan metode added weight.

2. Persyaratan SOLAS Consolidated Edition 2009

Peraturan SOLAS 2009 tentang subdivision bertujuan untuk mendapatkan jarak sekat minimum bagi kapal sehingga memenuhi standar nilai indeks R (Required Subdivision Index, R), $A > R$ (MSC Circular 1226, 2007). Memenuhi atau tidaknya penyekatan pada kapal penumpang ditentukan oleh indeks tingkat subdivisi (R):

$$R = 1 - \frac{500}{L_s + 2.5N + 15.225} \quad (1)$$

Nilai indeks A diperoleh melalui penjumlahan indeks bagian AS, AP, dan A1 dimana nilainya dihitung berdasar sarat Deepest subdivision draught (ds), Partial subdivision draught (dp), dan Light service draught (dl) Sehingga rumus menjadi:

$$A = 0.4A_S + 0.4A_P + 0.2A_1 \quad (2)$$

Setiap indeks bagian merupakan penjumlahan kontribusi untuk semua kasus kebocoran yang diperhitungkan, dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$A = \sum p_i s_i \quad (3)$$

dimana i =kompartemen atau group kompartemen yang diperhitungkan; p_i =jumlah kemungkinan dari kompartemen atau group kompartemen yang diperhitungkan bocor, dengan mengabaikan setiap subdivisi horisontal; s_i =jumlah kemungkinan kapal dapat bertahan setelah kebocoran pada tiap kompartemen atau group kompartemen yang diperhitungkan, termasuk pengaruh dari setiap subdivisi horisontal. Faktor s_i dihitung untuk tiap kasus kebocoran pada kondisi pemuatan awal, diperoleh melalui rumus:

$$s_i = \text{minimum} \{ s_{\text{intermediate},i} \text{ or } s_{\text{final},i} \cdot s_{\text{mom},i} \} \quad (4)$$

dimana $s_{\text{intermediate},i}$ = probabilitas kapal untuk bertahan pada tahap

kebocoran antara intermediate flooding sampai dengan tahap equilibrium, $s_{final,i}$ = probabilitas kapal untuk bertahan pada tahap akhir kestimbangan kebocoran, $s_{mom,j}$ = probabilitas kapal untuk bertahan terhadap momen oleng. Untuk perhitungan $s_{intermediate,i}$ digunakan metode added weight. Pada kasus subdivisi horisontal nilai indeks A diperoleh dari rumus:

$$dA = p_i \cdot [v_1 \cdot s_{min1} + (v_2 - i_1) \cdot s_{min2} + \dots + (1 - v_{m-1}) \cdot s_{minm}]$$

(5)

dimana v_m = probabilitas kebocoran untuk sekat horisontal; s_{min} = faktor s terkecil untuk semua kombinasi kebocoran apabila terjadi kebocoran melewati sekat horisontal. Perhitungan kebocoran dianalisa menggunakan software hydromax dan perhitungan kriteria SOLAS 2009 dikembangkan menggunakan program MATLAB.

3. Data Kapal

Analisa dilakukan pada kapal feri ro-ro dengan panjang 37 meter dalam kondisi geladak kendaraan terbuka, secara umum beroperasi di perairan tenang dan tertutup. Pada kasus ini diambil salah satu kapal yang sedang beroperasi di wilayah perairan selat madura, data spesifikasi kapal sesuai Tabel 1.

Kondisi kapal memiliki ruang mesin depan dan belakang, masing-masing kamar mesin dilengkapi dengan 2 motor induk, dan setiap kamar mesin terdapat ruang kontrol. Pada ruang void yang berada di tengah kapal terdapat tangki bahan bakar dan air tawar. Tabel 2 menunjukkan nama tangki dan kompartemen yang akan dihitung nilai indeks subdivisi A untuk tiap kebocoran pada kompartemen dan grup kompartemen.

Tabel 1 Ukuran utama kapal

Panjang Subdivisi, Ls	36.320	m
Panjang Keseluruhan, LOA	37.000	m
LPP	35.850	m
Lebar, B	13.800	m
Tinggi, H	3.000	m
Sarat, T	1.800	m
DWT	447.300	t
Displasemen	642.50	t
Penumpang	540	orang
Kendaraan (truk)	18	buah

Tabel 2 Nama tangki dan kompartemen

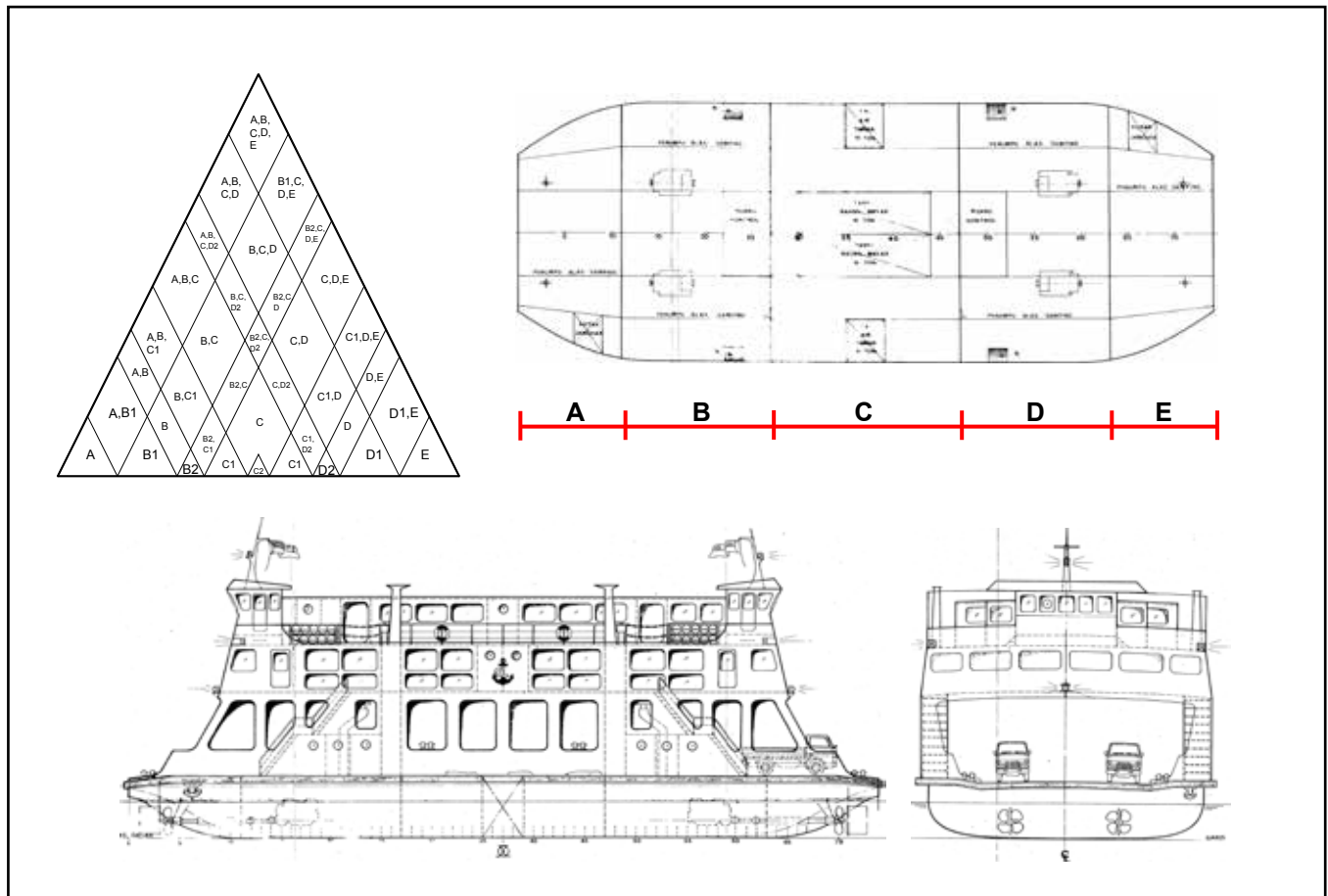
Zona	Nama Kompartemen	Volume (m3)	Jarak antar sekat (m)
A	Tangki Ceruk Buritan	91.261	0 – 5.5
B1	Kamar Mesin Belakang	215.001	5.5 – 13.5
B2	Ruang Kontrol Belakang	32.687	11 – 13.5
C1	Ruang Kosong (Void)	322.207	13.5 – 23.5
C2	Tangki Air Tawar	10.678	17.5 – 19.5
C3	Tangki Bahan Bakar	10.915	15 – 22
D1	Ruang Kontrol Depan	32.687	23.5 – 26
D2	Kamar Mesin Depan	215.001	23.5 – 31.5
E	Tangki Ceruk Haluan	91.262	31.5 – 37

Gambar 3 menunjukkan rencana umum kapal untuk penyekatan tangki dan kompartemen, dimana kapal memiliki 4 sekat melintang selebar kapal dan sekat memanjang pada tangki bahan bakar, tangki air tawar dan ruang kontrol.

zona yang mengasumsikan semua kompartemen bocor dengan batasan sekat melintang. Untuk perhitungan indeks R banyak dipengaruhi jumlah penumpang dikapal, adapun hasil perhitungan yaitu:

$$R = 1 - \frac{500}{L_s + 2.5N + 15.225} = 0.742$$

(6)



Gambar 3 Penyekatan tangki & kompartemen dalam zona kebocoran

4. Studi Kasus

Analisa dilakukan dengan menghitung nilai indeks A untuk setiap kompartemen bocor, hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai A yang lebih besar dibanding metode

Terdapat tiga kondisi pemuatan sesuai persyaratan SOLAS 2009 yaitu Deepest subdivision, Partial Subdivision dan Light Service. Data awal untuk 3 kondisi pemuatan pada saat kapal utuh ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Data kondisi pemuatan

Loadcase	Berat (Ton)	LCG (m)	KG (m)	TCG (m)
Deepest Subdivision	642.5	18.430	4.706	0.000
Partial Subdivision	27.9	18.430	4.781	0.000
Light Service	604.4	18.420	4.924	0.000

Selanjutnya dilakukan perhitungan kebocoran untuk kompartemen dan grup kompartemen pada setiap kondisi pemuatan (lihat Tabel 5 – 7), sehingga nantinya akan diperoleh indeks subdivisi A untuk tiap kompartemen dan grup kompartemen, kemudian

nilai tersebut diakumulasi untuk mendapatkan nilai total pencapaian indeks subdivisi A. Adapun hasil perhitungan indeks A untuk ke-tiga kondisi pemuatan sebagai berikut:

Tabel 4 Indeks A pada kondisi Deepest subdivision

Zones	p_i	r_i	s_i	v_i	p	$p \times s$	A
A	0.138	0.622	0.093	0.104	0.086	0.008	0.008
B1	0.230	1.000	0.038	0.075	0.230	0.009	0.017
B2	0.047	1.000	0.126	0.110	0.047	0.006	0.023
C1	0.305	1.000	0.037	0.058	0.305	0.011	0.034
C2	0.036	0.383	0.128	0.116	0.014	0.002	0.036
C3	0.193	1.000	0.129	0.115	0.193	0.025	0.061
D1	0.047	1.000	0.126	0.110	0.047	0.006	0.067
D2	0.230	1.000	0.040	0.076	0.230	0.009	0.076
E	0.138	0.622	0.095	0.104	0.086	0.008	0.084
1-zone damaged							0.084
A,B1	0.437	1.000	0.000	0.000	0.068	0.000	0.084
B1,B2	0.230	1.000	0.000	0.058	0.230	0.000	0.084
C1,C2	0.305	0.416	0.037	0.059	0.127	0.005	0.089
B2,C1	0.399	1.000	0.031	0.050	0.047	0.001	0.090
C1,D1	0.399	1.000	0.032	0.050	0.047	0.001	0.092
D1,D2	0.230	1.000	0.000	0.063	0.230	0.000	0.092
D2,E	0.437	1.000	0.000	0.000	0.068	0.000	0.092
B1,C1	0.607	1.000	0.000	0.000	0.071	0.000	0.092
C1,D2	0.607	1.000	0.000	0.000	0.071	0.000	0.092
2-zone damaged							0.008
A,B,C	0.815	1.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.092
B,C,D	0.909	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.092
C,D,E	0.815	1.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.092
3-zone damaged							0.000
Attained index, A_s =							0.092
Required index, R =							0.742

Tabel 6 Indeks A pada kondisi Partial Subdivision

Zones	p_i	r_i	s_i	v_i	p	$p \times s$	A
A	0.138	0.622	0.094	0.108	0.086	0.008	0.008
B1	0.230	1.000	0.040	0.080	0.230	0.009	0.017
B2	0.047	1.000	0.125	0.114	0.047	0.006	0.023
C1	0.305	1.000	0.039	0.062	0.305	0.012	0.035
C2	0.036	0.383	0.123	0.119	0.014	0.002	0.037
C3	0.193	1.000	0.127	0.117	0.193	0.025	0.062
D1	0.047	1.000	0.126	0.114	0.047	0.006	0.068
D2	0.230	1.000	0.043	0.080	0.230	0.010	0.077
E	0.138	0.622	0.096	0.108	0.086	0.008	0.086
1-zone damaged							0.086
A,B1	0.437	1.000	0.000	0.000	0.068	0.000	0.086
B1,B2	0.230	1.000	0.000	0.067	0.230	0.000	0.086
C1,C2	0.305	0.416	0.036	0.062	0.127	0.005	0.090
B2,C1	0.399	1.000	0.033	0.054	0.047	0.002	0.092
C1,D1	0.399	1.000	0.034	0.054	0.047	0.002	0.093
D1,D2	0.230	1.000	0.000	0.070	0.230	0.000	0.093
D2,E	0.437	1.000	0.000	0.000	0.068	0.000	0.093
B1,C1	0.607	1.000	0.000	0.000	0.071	0.000	0.093
C1,D2	0.607	1.000	0.000	0.000	0.071	0.000	0.093
2-zone damaged							0.008
A,B,C	0.815	0.422	0.000	0.000	0.001	0.000	0.093
B,C,D	0.909	0.422	0.000	0.000	0.000	0.000	0.093
C,D,E	0.815	0.422	0.000	0.000	0.001	0.000	0.093
3-zone damaged							0.000
Attained index, A_p =							0.093
Required index, R =							0.742

Tabel 7 Indeks A pada kondisi Lightweight

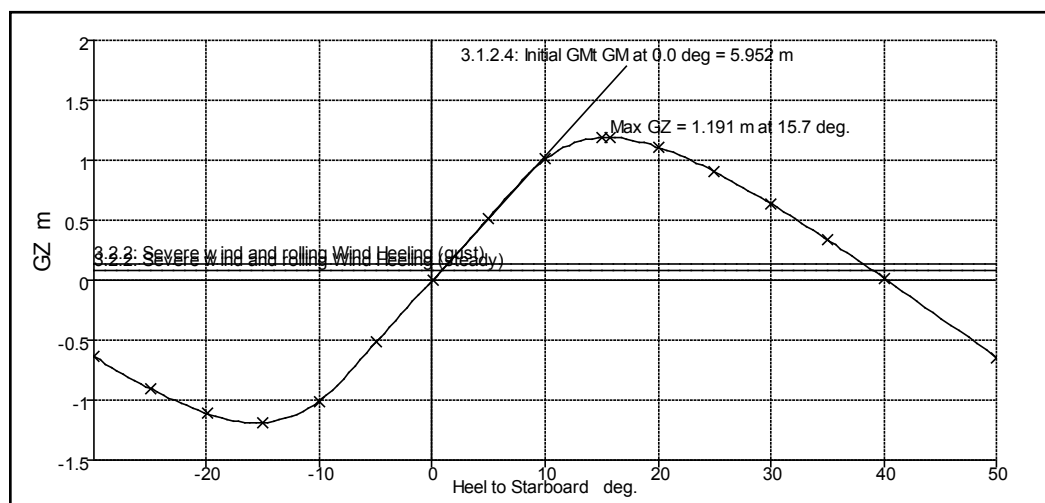
Zones	p_i	r_i	s_i	v_i	p	$p \times s$	A
A	0.138	0.622	0.096	0.114	0.086	0.008	0.008
B1	0.230	1.000	0.045	0.086	0.230	0.010	0.019
B2	0.047	1.000	0.126	0.119	0.047	0.006	0.025
C1	0.305	1.000	0.044	0.069	0.305	0.013	0.038
C2	0.036	0.383	0.113	0.123	0.014	0.002	0.040
C3	0.193	1.000	0.125	0.122	0.193	0.024	0.064
D1	0.047	1.000	0.126	0.119	0.047	0.006	0.070
D2	0.230	1.000	0.048	0.086	0.230	0.011	0.081
E	0.138	0.622	0.099	0.114	0.086	0.009	0.089
1-zone damaged							0.089
A,B1	0.437	1.000	0.000	0.000	0.068	0.000	0.089
B1,B2	0.230	1.000	0.000	0.077	0.230	0.000	0.089
C1,C2	0.305	0.416	0.032	0.077	0.127	0.004	0.093
B2,C1	0.399	1.000	0.038	0.061	0.047	0.002	0.095
C1,D1	0.399	1.000	0.038	0.061	0.047	0.002	0.097
D1,D2	0.230	1.000	0.035	0.078	0.230	0.008	0.105
D2,E	0.437	1.000	0.000	0.000	0.068	0.000	0.105
B1,C1	0.607	1.000	0.000	0.000	0.071	0.000	0.105
C1,D2	0.607	1.000	0.000	0.000	0.071	0.000	0.105
2-zone damaged							0.105
A,B,C	0.815	0.422	0.000	0.000	0.001	0.000	0.105
B,C,D	0.909	0.422	0.000	0.000	0.000	0.000	0.105
C,D,E	0.815	0.422	0.000	0.000	0.001	0.000	0.105
3-zone damaged							0.000
Attained index, A_i =							0.105
Required index, R =							0.742

Sehingga nilai rata-rata indeks A :

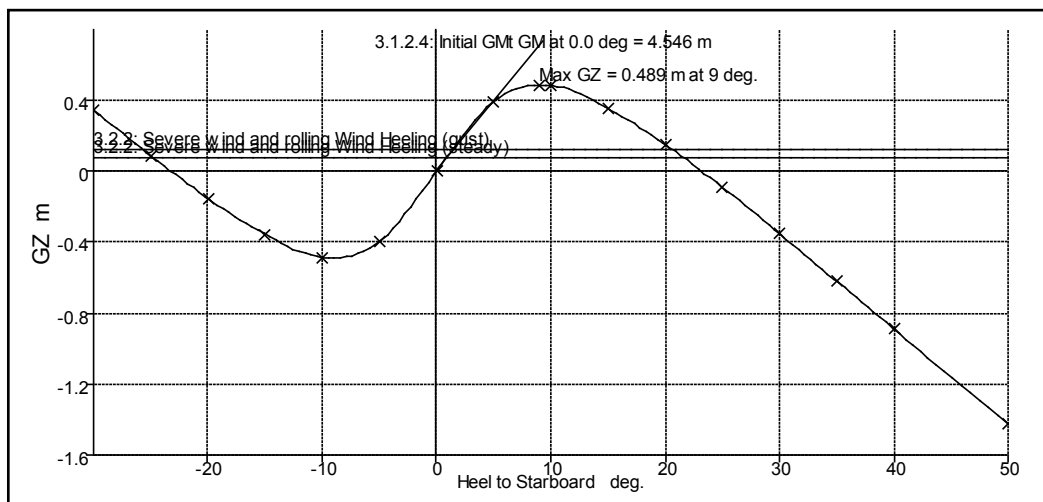
$$A = 0.4A_s + 0.4A_p + 0.2A_l = 0.095 \quad (7)$$

Pada kondisi ini nilai $A < R$ sehingga penyekatan sesuai aturan SOLAS 2009 tidak memenuhi. Terdapat tiga faktor yang mempengaruhi nilai indeks A yaitu p_i , r_i , dan s_i , sedangkan nilai v_i diabaikan karena tidak ada geladak kedap diatas geladak utama. Faktor p_i dipengaruhi oleh panjang kebocoran

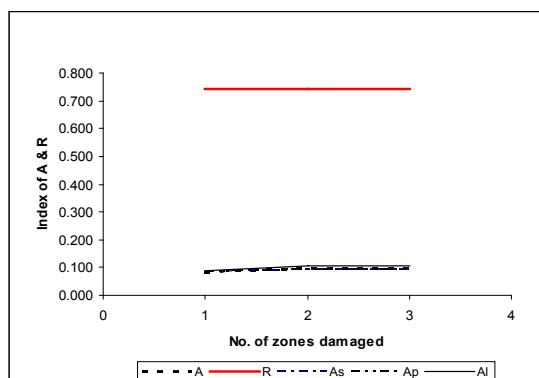
kompartemen, dimana semakin besar panjang kompartemen yang bocor maka nilai p_i semakin besar, selanjutnya faktor r_i dipengaruhi oleh penetrasi kebocoran, dimana semakin dalam penetrasi kebocoran maka factor r_i semakin besar. Untuk nilai s_i dipengaruhi oleh besarnya momen oleng yang ditimbulkan setelah kapal mengalami kebocoran. Sehingga besar nilai s_i ditentukan oleh luasan energi pengembali dan lengan GZ maksimum, semakin besar luasan energi pengembali dan GZ maksimum maka semakin besar pula faktor s_i . Dari gambar 4 dan 5 diperlihatkan perbandingan kurva lengan stabilitas antara 2 kompartemen D1 (ruang kontrol depan) dan C1 (Void).



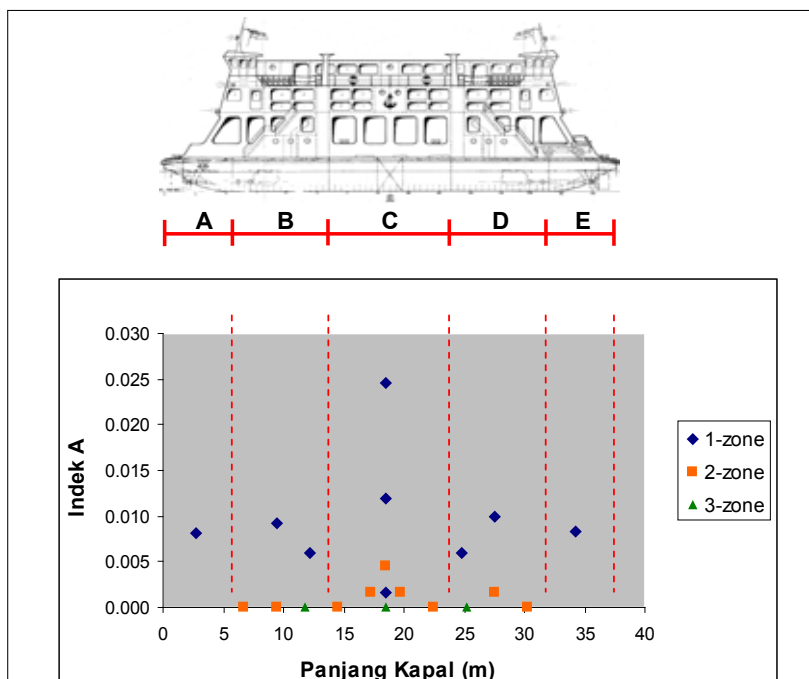
Gambar 4 Kurva stabilitas kompartemen ruang kontrol depan ketika bocor



Gambar 5 Kurva stabilitas kompartemen void ketika bocor



Gambar 6 Perbandingan hasil perhitungan nilai indeks A dan R



Gambar 7 Distribusi nilai indeks A terhadap panjang kapal

Dari gambar 6 menunjukkan bahwa nilai indeks A berada dibawah indeks R, sehingga penyekatan yang ada dikapal tidak memenuhi aturan SOLAS 2009. Dari hasil analisa diatas dapat diketahui bahwa minimnya penyekatan dan volume kedap pada kapal berpengaruh terhadap pencapaian nilai indeks A.

Gambar 7 menunjukkan pencapaian nilai indeks subdivisi A tiap kompartemen/zona dan kombinasi antar kompartemen bocor terhadap panjang kapal. Pencapaian nilai indeks subdivisi A terbesar terjadi pada kasus satu zona bocor dan berurutan sampai yang terkecil yaitu tiga zona atau lebih mengalami kebocoran, dengan nilai A sebesar nol. Nilai indeks subdivisi A terbesar terjadi pada tangki bahan bakar ketika mengalami kebocoran, hal ini dipengaruhi volume tangki bahan bakar kecil dan nilai faktor si besar karena posisi tangki berada di centerline, sehingga pengaruh momen oleng terhadap stabilitas kapal ketika bocor adalah kecil.

5. Kesimpulan

Dari analisa dapat disimpulkan bahwa, kapal feri ro-ro dengan kondisi geladak kendaraan terbuka, menghasilkan nilai indeks subdivisi A sebesar 0.095 dan indeks R sebesar 0.742, selisih nilai indeks subdivisi A terhadap nilai indeks R sangat besar, sehingga beberapa solusi dengan menambah ruang kedap melalui penutupan dan penyekatan geladak kendaraan relatif sulit diaplikasikan, karena proses bongkar muat kendaraan tidak bisa dilakukan dengan adanya tambahan sekat digeladak kendaraan. Walaupun dilakukan penutupan pada geladak kendaraan, peluang untuk melewati batas yang dipersyaratkan yaitu indeks R sangat kecil. Karena $A < R$, maka penyekatan yang ada dikapal tidak memenuhi aturan SOLAS 2009.

6. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada pimpinan PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero) yang telah memberikan bantuan finansial berupa beasiswa pendidikan S2 di ITS Surabaya, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dan melaksanakan riset terkait analisa keselamatan kapal-kapal feri diperairan Indoensia.

7. Daftar Pustaka

- 1) Dit. Penjagaan dan Penyelamatan, Ditjen Hubla(2011), *Rekap Data Kecelakaan Laut 2003 – 2011*, Jakarta.
- 2) Komite Nasional Keselamatan Transportasi (2011), *Marine Safety Digest, Improving safety at sea*, Buletin KNKT Departemen Perhubungan, Jakarta.
- 3) Rawson, K.J. dan Tupper, E.C. (2001), *Basic Ship Theory, Fifth Edition Volume 1*, Butterworth-Heinemann.
- 4) Vossnack, E and Boonstra, H. (1992), "Integration of Damage Stability Improvements in the Design of Ro-Ro Veseels", *Marine Safety and Environment/Ship Production*, Delft.
- 5) Nickum, G. C. (1988). *Subdivision and Damage Stability. Principle of Naval Architecture Second Revision*. E. V. Lewis. Jersey City, SNAME. 1.
- 6) Semyonov-Tyan-Shansky. V (1963), *Statics and Dynamics of the Ship*, Peace Publishers, Moscow.
- 7) MSC Circular 1226 (2007), *Interim Explanatory Notes to the SOLAS Chapter II-1 Subdivision and Damage Stability Regulations*, IMO, London.

8. Biografi Penulis

Moch. Zaky.

merupakan staf peneliti bidang hidrodinamika dan Stabilitas di Divisi Manajemen Strategi PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero). Memperoleh gelar Sarjana Tahun 2003 di Teknik Sistem Perkapalan ITS Surabaya dan gelar Master Teknik (MT) Tahun 2012 di Pasca Sarjana ITS Surabaya. Saat ini beliau aktif di kegiatan riset dan pengembangan aturan garis muat dan stabilitas untuk perairan Indonesia.

VDR SEBAGAI BLACK BOX KAPAL



Angjuang Adi Panji P

- Penelitian dan Pengembangan, PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero)
- E-mail: angjuang@bki.co.id

Just as black box carried on aircraft, Voyage Data Recorder (VDR) allow accident investigators to review procedures and instructions in the moments before an incident and help investigators identify the cause of the accident. The electronic data that received by each sensors from connected equipment is stored in a final recording medium. In accordance with the provisions of IMO-1974 SOLAS chapter V Safety of navigation, passenger ships and ships other than passenger ships with a 3000 GT and more built on or after July 1, 2002 must be equipped with VDR and entered into force on July 1, 2002

Key words : *Voyage data recorder, Investigator, Electronic data, Final recoding medium.*

1. Pendahuluan

Voyage data recorder (VDR) merupakan sistem yang terdiri dari item-item yang dibutuhkan untuk menghubungkan sumber sinyal, proses dan encoding dari sinyal tersebut, media perekam, peralatan pemutar ulang (playback), pemasok tenaga dan sumber tenaga cadangan.

VDR merekam informasi-informasi terkait posisi kapal, haluan, kecepatan, kondisi terakhir, percakapan di anjungan dan lain sebagainya dimana bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab insident kecelakaan. VDR ditujukan untuk kapal bangunan baru dan S-VDR (Simplified Voyage Data Recorder) dipasang pada kapal bangunan lama. Perbedaanannya adalah S-VDR lebih sederhana dibandingkan dengan VDR dimana item-item yang direkam terbatas.

VDR bekerja secara continu merekam data-data yang berhubungan dengan status dan output dari peralatan kapal, perintah dan kontrol kapal ,tanggal dan waktu, posisi kapal,

haluan, kecepatan, percakapan di anjungan, data tampilan radar dan data-data lainnya yang nantinya digunakan sebagai sarana informasi untuk membantu proses investigasi jika terjadi kecelakaan.

VDR bekerja merekam data dengan interval waktu 12 jam dimana data 12 jam pertama akan tertindih (overwrite) oleh data yang direkam 12 jam berikutnya. Data yang terekam ini disimpan pada media penyimpanan dengan kapasitas sekitar 2 GB dan penyimpanan utama pada kapsul unit yang terletak di luar kapal dan pada memory flash yang terletak pada panel utama VDR di dalam kapal.

2. Regulasi SOLAS

Tidak semua kapal harus dilengkapi dengan VDR/S-VDR, Berdasarkan ketentuan dari SOLAS Chapter V mengenai aplikasi VDR/S-VDR, kapal-kapal yang dipersyaratkan untuk menggunakan VDR/S-VDR adalah seperti pada table 1 di bawah ini:

Tabel 1. Persyaratan penerapan VDR/S-VDR

Kapal			Peralatan	Persyaratan Instansi
Kapal yang berlayar di perairan internasional	Kapal penumpang dan kapal RORO penumpang dengan GT 150 dan ke atas	Kapal bangunan lama/Kapal yang baru akan dibangun	VDR	
		Kapal yang dibangun setelah 1 Juli 2002	VDR	
	Kapal barang dengan GT 3000 dan ke atas	Kapal yang dibangun sebelum 1 Juli 2002	VDR atau S-VDR	GT 2000 dan ke atas, 1 Juli 2006 sampai 1 Juli 2009 GT 3000-20000 1 Juli 2007 sampai 1 Juli 2010

3. Sensor-sensor yang terhubung

Untuk menjalankan fungsinya sebagai black box, tentunya dibutuhkan data-data atau parameter inputan yang diperlukan guna mempermudah pengidentifikasian kecelakaan. Data-data ini berupa sentences atau dry contact dari peralatan yang diinputkan ke VDR. Pada table 2 memberikan informasi data-data inputan berdasarkan *IMO MSC Resolution A.861 (20) performance standards for shipborne voyage data recorder* dan *IMO MSC Resolution 163 (78) performance standards for shipborne simplified voyage data recorder*.

Pada kapal bangunan lama tidak semua peralatan harus terhubung dengan S-VDR yang mana disesuaikan berdasarkan kondisi item yang tersedia pada kapal (sesuai dengan tabel 1). Persyaratan minimum item-item yang harus terhubung (mandatory) untuk S-VDR adalah:

1. Data suara melalui Microphone yang terpasang pada anjungan.
2. Data posisi latitude dan longitude, tanggal dan waktu berdasarkan UTC.

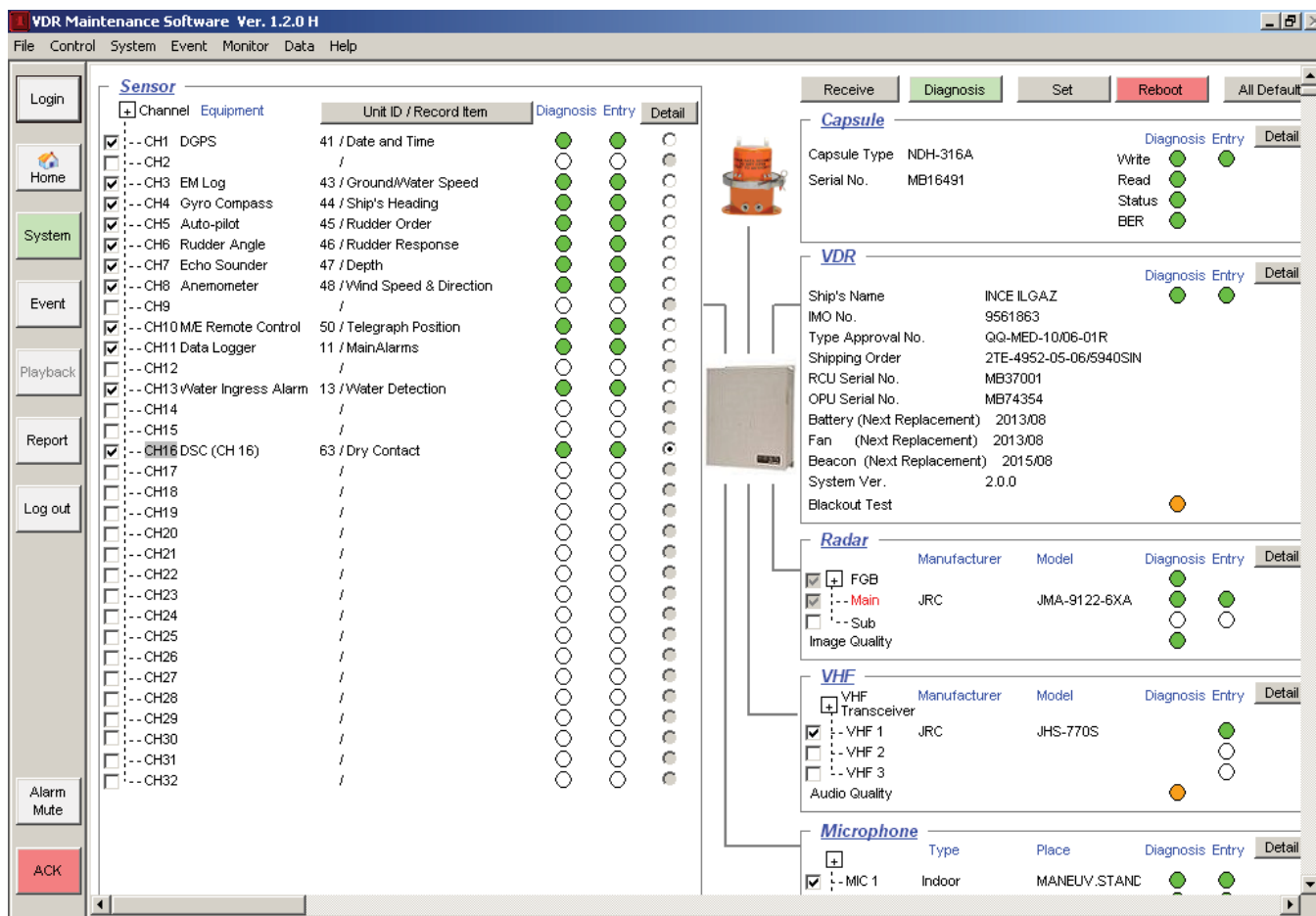
Tabel 2. Input data

No.	Input	VDR	S-VDR
1	Date and Time (referenced to UTC)	X	X
2	Ship's Position (latitude and longitude derived from an electronic position-fixing-system)	X	X
3	Speed (speed through water or speed over the ground)	X	X
4	Heading (as indicated by the ship's compass)	X	X
5	Bridge Audio (one or more microphone) depending on the wheel house configuration	X	X
6	Communication Audio (VHF communication relating to ship operation)	X	X
7	Radar Data (on the ship's radar installations)	X	1
8	AIS Data		2
9	Depth under keel (Echo Sounder)	X	3
10	Main alarm (status of all mandatory alarm on the bridge)	X	3
11	Rudder order and response	X	3
12	Engine order and response	X	3
13	Hull opening status	X	3
14	Water tight and Fire door status	X	3
15	Acceleration and Hull stresses	X	3
16	Wind speed and direction (Anemometer)	X	3
17	ECDIS	4	
18	Both of radar (X band and S band)	4	
19	Rolling motion	4	
20	Electronic logbook	4	

Keterangan:

- 1 – Jika tersedia interface untuk radar
- 2 – Jika tidak tersedia interface untuk radar atau sumber lainnya
- 3 – Jika interface tersedia
- 4 – Persyaratan tambahan baru sesuai dengan Resolusi IMO MSC. 333 (90).

3. Data haluan kapal (Gyro compass).
4. Data kecepatan kapal.
5. Komunikasi audio melalui radio VHF.
6. Radar, apabila tidak tersedia interface untuk radar maka sebagai pengganti diperbolehkan menggunakan data AIS.



Gambar 1. Tampilan program input data VDR

4. Apa yang dilakukan saat terjadi kecelakaan?

Seperti yang telah dijelaskan pada paragraph sebelumnya bahwa VDR/S-VDR bekerja merekam aktivitas pada anjungan, peralatan navigasi dan input-input lainnya secara kontinu. Seluruh data yang direkam umumnya disimpan pada dua jenis media penyimpanan yang berbeda. Pertama pada flash card memory yang tersimpan di dalam control panel VDR/S-VDR di dalam kapal dan pada Capsule unit yaitu media penyimpanan berupa hardisk dengan kapasitas sekitar 2 GB yang ditempatkan di dalam kapsul unit dan dipasang pada luar kapal, umumnya diletakkan pada compass deck kapal. Terdapat dua jenis kapsul unit yaitu tipe portable dan fixed capsule.

Saat terjadinya kecelakaan kapal baik tenggelam, kandas, tubrukan, kebocoran, trim dan sebagainya, jika memungkinkan officer yang bertanggung jawab (safety officer) menyelamatkan

data rekaman VDR/S-VDR yang tersimpan pada back up memory (flash card memory). Prosedur pengambilan flash card ini harus dilakukan dengan aman sama halnya dengan flash memory yang sering kita gunakan sehari-hari dimana perlu adanya safely remove hardware and eject media sebelum di detach/dilepaskan dari computer. Pada VDR/S-VDR proses pengambilan data dilakukan dengan terlebih dahulu menghentikan proses perekaman data menuju flash card memory untuk menghindari terjadinya korupt data. Setelah perekaman data menuju flash card memory terhenti, barulah flash card dapat ditarik dengan aman. Umumnya dibutuhkan waktu tidak lebih dari satu menit untuk proses pengambilan flash card memory ini.

Apabila flash card memory tidak sempat diselamatkan saat terjadinya kecelakaan (misalnya pada kasus kapal tenggelam) maka data rekaman kejadian hanya dapat diperoleh dari hard disk yang tersimpan di dalam kapsul unit karena besar

kemungkinan flash card memory rusak oleh air. Tentunya dibutuhkan penyelaman bawah laut untuk mengangkat capsule unit ini mengingat telah terpasang fix pada kapal (untuk tipe fix capsule). Capsul unit yang terpasang di kapal dilengkapi dengan underwater acoustic beacon yang akan bekerja secara otomatis memancarkan sinyal dengan frekuensi dari 25 kHz

informasi terakhir status kapal, dilakukan dengan bantuan software khusus yang disediakan oleh pabrik pembuat VDR/S-VDR tersebut. Proses pengolahan data dari rekaman VDR/S-VDR untuk diputar ulang dengan playback software dilakukan oleh orang yang telah mendapatkan sertifikat khusus dari pabrikan pembuat untuk mengoperasikan software program tersebut. dan tentunya bersama dan atas permintaan KNKT (sebagai investigator), pemilik kapal dan pihak-pihak lain yang terkait.



Gambar 2. Underwater acoustic beacon

sampai 50 kHz (umumnya 37,5 kHz) pada kedalaman sekitar 6096 m (20.000 ft) dan mampu beroperasi hingga 30 hari (minimum). Ketika berada di dalam air maka saklar air akan teraktifasi oleh air dimana air akan menjadi media konduktor yang menghubungkan kutub positif dan negative dari battery beacon tersebut.

Sinyal yang dipancarkan oleh beacon tersebut juga membantu untuk menemukan lokasi kapal guna keperluan investigasi selain sinyal yang dipancarkan oleh EPIRB sebagai indikasi lokasi terakhir kapal.

Data yang diperoleh baik dari CF card ataupun dari capsule unit selanjutnya akan dipergunakan untuk keperluan investigasi kecelakaan.

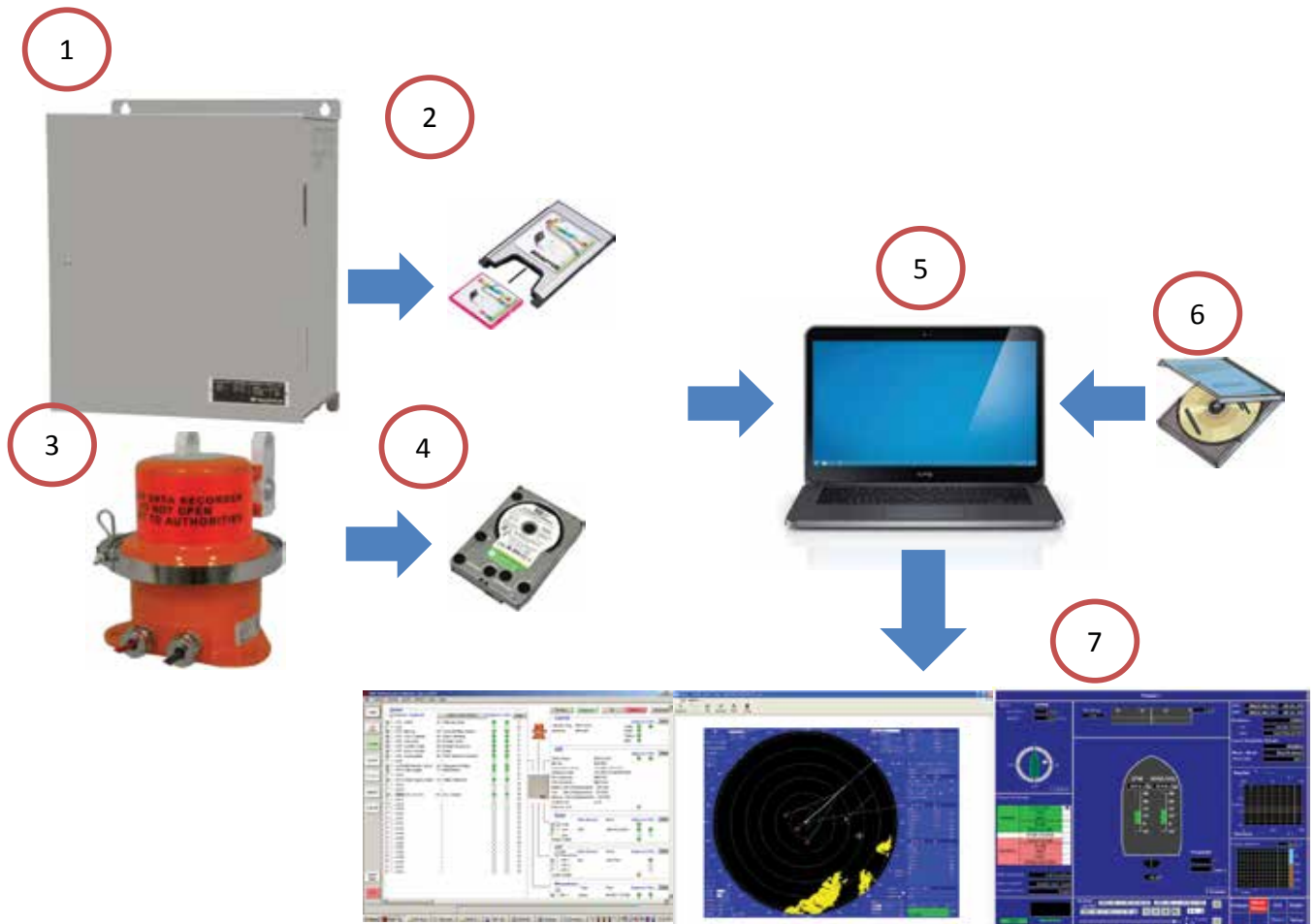
5. Proses investigasi kecelakaan kapal dengan VDR/S-VDR

Saat terjadinya kecelakaan kapal, investigasi kejadian dapat dibantu dengan data-data yang telah terekam pada VDR/S-VDR. Untuk mengolah data yang telah terekam tersebut baik yang tersimpan pada media penyimpanan capsule unit ataupun portable compact flash memory menjadi tampilan informasi-

Berdasarkan IMO MSC Circular.1024 yang menyajikan ketentuan terkait kepemilikan dan pemulihan (recovery) VDR yaitu:

- Pemulihan data informasi VDR harus dilakukan segera dan secepat mungkin setelah terjadinya kecelakaan untuk menyediakan bukti relevant yang selanjutnya akan digunakan oleh investigator dan pemilik kapal.
- Dalam semua kondisi selama dilakukannya investigasi, investigator harus mengamankan data asli dari VDR.
- Dalam segala situasi investigator bertanggung jawab untuk mengatur proses pengunduhan dan pembacaan informasi dari VDR.
- Salinan dari informasi VDR harus disampaikan untuk pemilik kapal di awal-awal setelah diperolehnya rekaman informasi VDR.
- Akses lebih lanjut ke informasi tersebut akan diatur oleh undang-undang yang berlaku dalam Negara bendera.

6. Investigasi menggunakan program aplikasi playback



Gambar 3. Proses pengunduhan dan tampilan pemutar balik (play back) data

Keterangan:

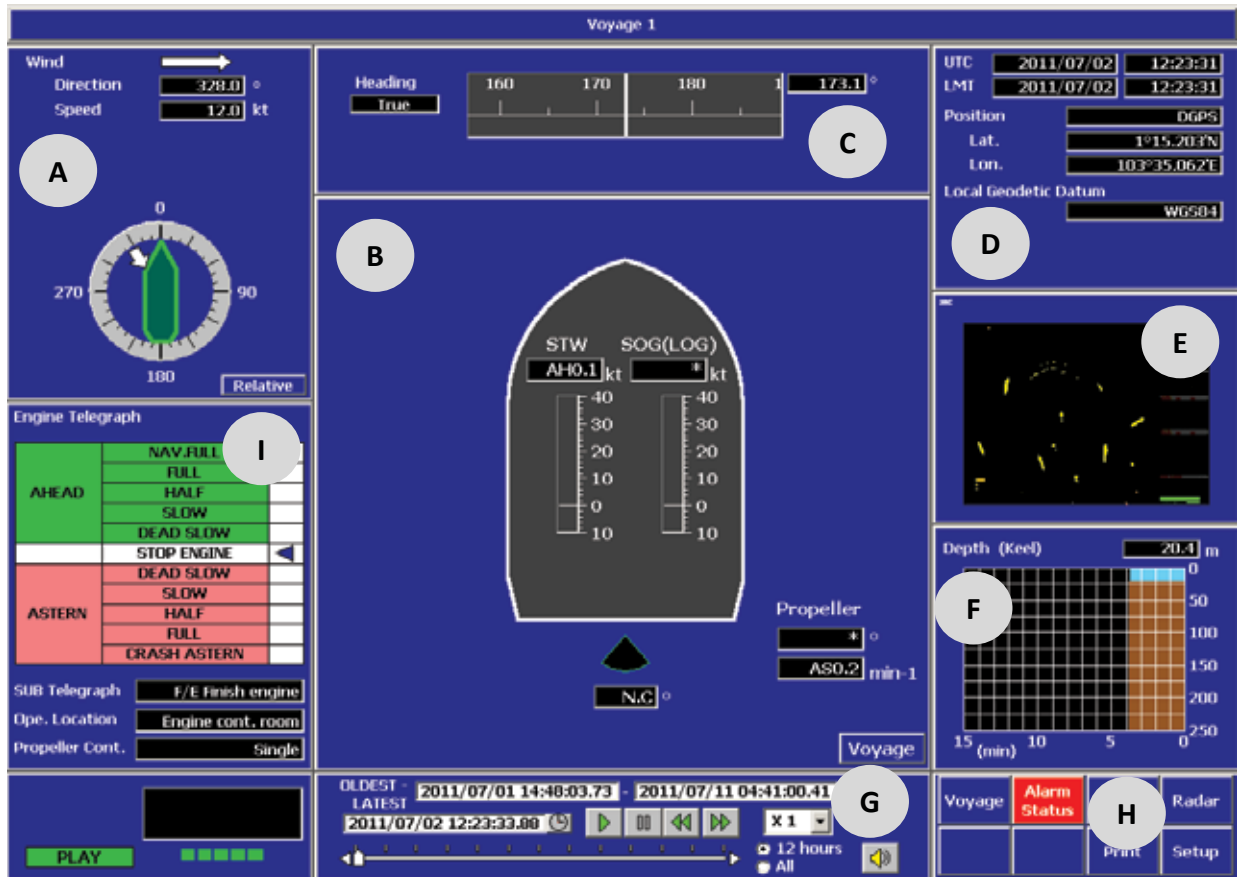
- | | |
|--|---|
| 1. Data acquisition unit dari VDR/S-VDR | 5. PC |
| 2. Compact flash card dengan card reader | 6. Program aplikasi untuk pemutar ulang (playback software) |
| 3. Capsule unit | 7. Tampilan dari playback software untuk membantu investigasi |
| 4. Disk drive (FRM) | |

Untuk tujuan investigasi data yang telah direkam dapat diunduh dan diputar ulang (playback) menggunakan program aplikasi Playback. Terdapat dua sumber data yaitu data dari compact flash memory dan data dari disk drive pada capsule unit. Pada Compact flash memory yang diperoleh dari data acquisition unit, data diambil dengan menghubungkan compact flash memory dengan PC yang memiliki port PCMCIA atau dengan converter PCMCIA to USB untuk PC yang tidak memiliki port PCMCIA. Data yang ada pada memory selanjutnya diunduh dan disimpan pada drive PC. Sedangkan untuk data yang diambil dari disk drive umumnya menggunakan kabel data. Data yang telah diambil ini disimpan pada hardisk PC.

Setelah program aplikasi dijalankan dan data yang telah tersimpan pada drive PC telah dipilih, selanjutnya adalah menentukan waktu yang diperkirakan terjadinya kecelakaan. Kemudian program playback dijalankan, barulah analisa dapat dimulai oleh tim investigator. Selain data visualisasi, program playback juga dapat mengeluarkan audio rekaman suara baik dari microphone pada anjungan ataupun pada peralatan komunikasi radio (VHF radio).



Gambar 4. Tampilan pembacaan radar



Gambar 5. Contoh tampilan playback VDR

Deskripsi:

- A. Kolom ini berisi informasi mengenai arah dan kecepatan angin. data diperoleh dari anemometer yang direkam pada tanggal 2 Juli 2011, pukul 12.23 (waktu ditunjukkan pada kolom G).
- B. Berisi informasi mengenai status dari kecepatan kapal yang terdiri dari STW (Speed through water) yaitu kecepatan rata-rata kapal yang terbaca oleh GPS dan SOG (speed over ground) yaitu kecepatan rata-rata kapal yang diperoleh dari sensor kecepatan (speed log), kecepatan putar propeller (pada contoh diatas menggunakan single propeller) dan derajat kemudi.
- C. Pada kolom ini berisi informasi derajat haluan kapal (Ship's heading) yang diperoleh dari gyro compass.
- D. Kolom ini berisi informasi posisi lintang, bujur kapal, waktu local dan UTC. Data ini diperoleh dari peralatan GPS kapal.
- E. Kolom ini berisi tampilan radar yang diambil dari salah satu radar X band atau S band, apabila tidak tersedia fasilitas untuk interkoneksi radar, maka dapat digantikan dengan data dari AIS (Automatic identification system).
- F. Berisi Informasi kondisi kedalaman air laut yang diukur dari lunas kapal tepat dimana transducer pembaca kedalaman terpasang.
- G. Pada kolom ini terdapat settingan waktu play back rekaman VDR/S-VDR yang dapat dipilih sesuai dengan waktu terjadinya kejadian/kecelakaan.
- H. Berisi informasi mengenai alarm status dan radar settings.

- H. Pada kolom ini terdapat tab-tab yang berisi informasi-informasi lain seperti data kapal, informasi alarm yang terjadi dan tampilan AIS kapal bilamana VDR/S-VDR tidak terhubung dengan radar. Selain itu juga terdapat tampilan khusus radar dalam resolusi tinggi.
- I. Kolom ini berisi informasi engine telegraph yang berupa status motor penggerak kapal baik saat berjalan maju, mundur ataupun berhenti.

Referensi

- [–] *SOLAS consolidate edition 2009.*
- [–] *Instruction manual JRC Voyage Data Recorder JCY-1800.*
- [–] *MSC/Circ.1024, Guidelines on Voyage Data Recorder (VDR) Ownership And Recovery.*
- [–] *MSC.163(78), Performance Standards for Shipborne Simplified Voyage Data Recorders (S-VDRs)*
- [–] *MSC.333(90), Adoption of Revised Performance Standards for Shipborne Voyage Data Recorders (VDRs)*
- [–] *Ships electrical systems, DokMar publisher*
- [–] *Fundamental of marine electronic data, Australian Transport Safety Bureau in association with Republic Indonesia Ministry of Transportation, National Transportation Safety Committee.*

KARAKTERISTIK LINGKUNGAN PERAIRAN INDONESIA:

DASAR PENENTUAN KRITERIA STABILITAS KAPAL DALAM NEGERI



Daeng Paroka, ST, MT, Ph.D

- Staff Pengajar Teknik Perkapalan Fakultas Teknik
- Universitas Hasanuddin
- E mail : d_paroka@yahoo.com

1. Pendahuluan

Stabilitas merupakan salah satu parameter keselamatan kapal dalam pelayaran. Untuk mendapatkan sertifikat kelaikan, setiap kapal harus menunjukkan hasil perhitungan stabilitas yang sudah diperiksa (approved) oleh badan klasifikasi dimana kapal tersebut dikelaskan. Proses pemeriksaan stabilitas didasarkan pada kriteria stabilitas baik kriteria stabilitas dalam negeri untuk kapal pelayaran lokal atau kriteria stabilitas internasional untuk kapal pelayaran internasional. Negara yang belum mempunyai kriteria stabilitas sendiri dapat mengadopsi kriteria stabilitas IMO (International Maritime Organization) sebagai badan otoritas PBB yang menangani masalah kemaritiman. Indonesia merupakan salah satu negara yang mengadopsi kriteria stabilitas IMO baik untuk kapal pelayaran lokal maupun pelayaran internasional. Kriteria stabilitas IMO terdiri atas kriteria umum (general criteria) yang berlaku untuk semua type kapal serta kriteria khusus yang hanya berlaku untuk type kapal tertentu seperti kriteria cuaca (weather criteria) yang harus dipakai untuk mengevaluasi stabilitas kapal penumpang atau kapal dengan luas permukaan bidang tangkap angin yang besar, kriteria stabilitas untuk kapal ikan serta type kapal lainnya seperti container dan lain-lain (IMO, 2002).

Kriteria umum stabilitas IMO dikembangkan oleh Rahola (1930) berdasarkan statistik karakteristik lengan stabilitas kapal yang ada pada saat itu baik yang masih beroperasi ataupun yang sudah tenggelam. Seiring dengan perkembangan teknologi di bidang perkapalan, topologi kapal juga mengalami evolusi yang mengharuskan IMO untuk mengembangkan kriteria stabilitas yang dapat dipakai untuk semua kapal. Salah satu pengembangan kriteria stabilitas adalah kriteria untuk kapal penumpang atau kapal dengan luas bidang tangkap angin

yang besar. Kriteria cuaca dimaksudkan untuk menghindari terjadinya ketenggelaman kapal akibat angin dan gelombang dimana sistem propulsi dan kemudi tidak berfungsi atau lebih umum dikenal dengan istilah "dead ship" (IMO, 2008). Prinsip dasar pengembangan kriteria cuaca adalah metode keseimbangan energy antara momen oleng akibat angin dengan momen pengembali pada saat kapal mengalami gerak oleng (rolling). Energy gelombang dan angin yang menyebabkan kapal mengalami kemiringan ke arah portside sebesar sudut oleng tertentu harus diimbangi dengan energi momen pengembali yang akan mengembalikan kapal pada kondisi tegak. Energi angin dan gelombang serta energi momen pengembali dapat diestimasi sebagai luar yang dibatasi oleh kurva lengan stabilitas pada arah portside dan starboard. Agar kapal dapat terhindari dari bahaya ketenggelaman, energi momen pengembali harus sama dengan atau lebih besar dari energi angin dan gelombang yang mengakibatkan kapal mengalami kemiringan (oleng).

Kriteria cuaca IMO (IMO, 2008) diadopsi dari kriteria cuaca Rusia dan Jepang (Kobylnski, 2003). Pada kriteria cuaca Rusia, faktor fluktuasi angin tidak dipertimbangkan sehingga kecepatan angin diasumsikan konstan. Berbeda dengan kriteria cuaca Jepang dimana faktor fluktuasi angin dipertimbangkan dengan estimasi faktor keamanan sebesar 50 persen lebih besar dari kecepatan angin konstan. Penentuan faktor fluktuasi angin pada kriteria cuaca Jepang didasarkan pada data hasil pengukuran kecepatan angin yang diberikan oleh Watanabe, et. al. (1955) pada berbagai kondisi badai. Berdasarkan data tersebut diperoleh nilai rata-rata faktor fluktuasi angin sebesar 50 persen lebih besar dari kecepatan angin konstan. Lokasi pengukuran kecepatan angin tidak dijelaskan tetapi besar kemungkinan data angin tersebut dikoleksi di Perairan Jepang.

Karakteristik angin seperti kecepatan dan fluktuasi kecepatan angin sangat tergantung pada letak geografis dari suatu lokasi. Oleh karena itu, untuk kepentingan kriteria cuaca bagi kapal-kapal pelayaran lokal dapat ditentukan faktor fluktuasi angin tersebut berdasarkan karakteristik data angin dimana kapal akan dioperasikan. Begitu juga dengan asumsi kecepatan angin konstan yang akan digunakan sangat tergantung pada lokasi. Kecepatan angin maksimum pada satu lokasi dapat berbeda dengan kecepatan angin maksimum pada lokasi yang lain. Pada kriteria cuaca IMO kecepatan angin yang digunakan adalah 26 m/det yang juga diadopsi dari kriteria cuaca Jepang (Watanabe, et. al., 1956). Kecepatan angin tersebut ditentukan berdasarkan hasil penghitungan perbandingan antara energi momen pengembali dengan energi momen oleng akibat angin dan gelombang pada beberapa kapal sampel dengan kecepatan angin yang bervariasi mulai dari 10 m/det sampai dengan 35 m/det. Kapal-kapal yang dijadikan sampel adalah kapal yang dibangun dan beroperasi saat itu yang mana mempunyai perbedaan typology dengan kapal yang ada sekarang baik evolusi akibat permintaan ataupun yang disebabkan oleh perkembangan teknologi perkapalan.

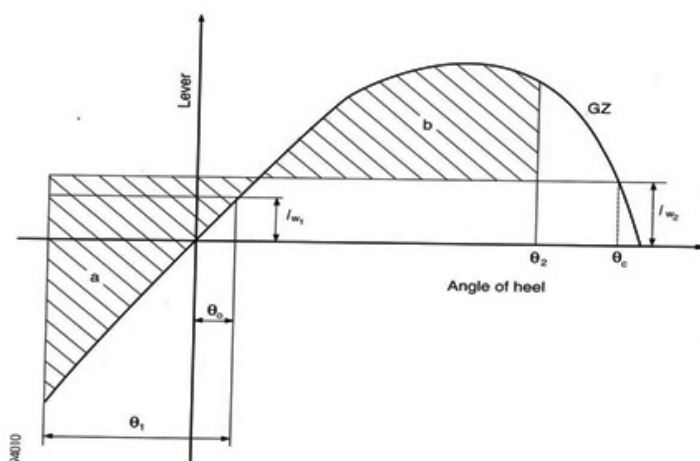
Selain karakteristik angin, karakteristik gelombang pada satu perairan juga dapat berbeda dengan karakteristik gelombang pada lokasi perairan yang berbeda secara letak dan kondisi geografis. Berdasarkan Beaufort Scale yang dikeluarkan oleh Badan Meteorologi Dunia (WMO) karakteristik gelombang di perairan bebas berupa periode dan tinggi gelombang signifikan sangat berkorelasi dengan kecepatan angin rata-rata. Berdasarkan teori pembangkitan gelombang akibat angin, tinggi dan periode gelombang sangat tergantung pada kecepatan angin dan jarak penjarangan gelombang. Indonesia sebagai negara kepulauan dengan jarak antar pulau yang tidak terlalu jauh sangat memungkinkan karakteristik

gelombang yang ditimbulkan oleh angin sangat berbeda dengan karakteristik gelombang pada perairan terbuka. Oleh karena itu diperlukan data gelombang atau setidaknya prediksi karakteristik gelombang untuk dapat menentukan parameter gelombang khususnya kecuraman gelombang untuk kriteria cuaca pada kriteria stabilitas untuk kapal-kapal yang beroperasi di Perairan Indonesia.

Berdasarkan uraian yang diberikan pada beberapa paragraph di atas, data lingkungan perairan sangat diperlukan untuk dapat mengembangkan kriteria cuaca khusus untuk kapal-kapal yang beroperasi dalam negeri. Untuk penentuan kecepatan angin dapat mengikuti metode penentuan kecepatan angin yang diberikan oleh Watanabe et. al. (1956) atau dengan memakai data angin Perairan Indonesia jika tersedia dengan pendekatan probabilitas apabila batas tingkat resiko ketenggelaman yang masih dapat diterima telah ditentukan. Untuk sarana atau fasilitas umum, badan dunia menetapkan tingkat resiko yang dapat diterima adalah 10^{-6} (referensi).

2. Kriteria Cuaca IMO

Parameter evaluasi kriteria cuaca adalah perbandingan antara energi momen pengembali dengan energi momen oleng yang disebabkan oleh angin dan gelombang. Nilai perbandingan tersebut tidak boleh kurang dari satu. Energi momen pengembali dapat diestimasi dari luasan yang dibatasi oleh kurva stabilitas sampai dengan sudut kemiringan dimana lengan stabilitas sudah sama dengan nol (angle of vanishing stability) atau sudut dimana bukaan yang ada di geladak utama sudah menyentuh permukaan air (downflooding angle) atau sudut 50 derajat, diambil nilai yang terkecil. Energi momen oleng akibat angin dan gelombang adalah luasan yang dibatasi oleh kurva lengan stabilitas sampai pada sudut kemiringan dalam arah berlawanan yang disebabkan oleh angin dan



Gambar 1. Parameter evaluasi stabilitas untuk kriteria cuaca (weather criteria) (IMO, 2002).

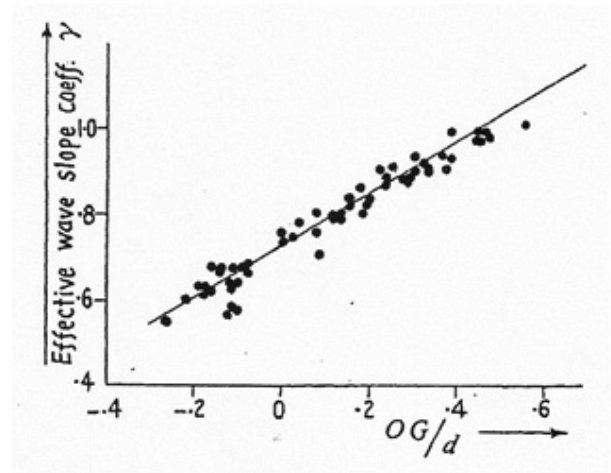
gelombang yang bekerja secara bersamaan (IMO, 2002) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

Luasan "b" pada Gambar 1 adalah energi momen pengembali sedangkan luasan "a" adalah energi momen oleng akibat angin dan gelombang. Dengan demikian maka kriteria cuaca dapat akan terpenuhi jika b/a lebih besar atau sama dengan satu. lw_1 pada Gambar 1 adalah lengan pengganggu yang ditimbulkan angin dengan kecepatan konstan dimana IMO menetapkan kecepatan angin sama dengan 26 m/detik sebagai standar untuk kriteria cuaca. ϕ_0 adalah sudut kemiringan kapal akibat momen pengganggu angin dengan kecepatan konstan, ϕ_1 adalah sudut oleng kapal akibat gelombang dan angin yang bekerja secara bersamaan dan lw_2 adalah lengan momen pengganggu akibat fluktuasi kecepatan angin. ϕ_c dan ϕ_2 masing-masing adalah sudut kemiringan kapal dimana bukaan yang ada di geladak sudah menyentuh permukaan air (downflooding angle) dan sudut kemiringan kapal dimana lengan pengembali sama dengan nol dengan mempertimbangkan lengan momen pengganggu (angle of vanishing stability). Besarnya sudut kemiringan akibat momen angin dan gelombang yang bekerja secara bersamaan diestimasi dengan menggunakan formula yang diusulkan oleh Jepang dan Rusia.

$$\phi_1(\text{degrees}) = 109 \times k \times X_1 \times X_2 \sqrt{r \times s}$$

Konstanta 109 pada persamaan di atas adalah faktor keselamatan yang ditentukan berdasarkan hasil pengujian model fisik 58 kapal Jepang dari total 8.825 kapal berbendera Jepang dengan ukuran lebih besar dari 100 GT (Jepang, 1982). Nilai ini tidak mewakili kapal dengan tonase kurang dari 100 GT yang mana merupakan kapal yang banyak beroperasi di perairan Indonesia. Faktor k , X_1 dan X_2 adalah faktor yang tergantung pada karakteristik geometri kapal sedangkan r dan s masing-masing adalah koefisien efektif slope gelombang (effective wave slope coefficient) dan kecuraman gelombang (wave steepness).

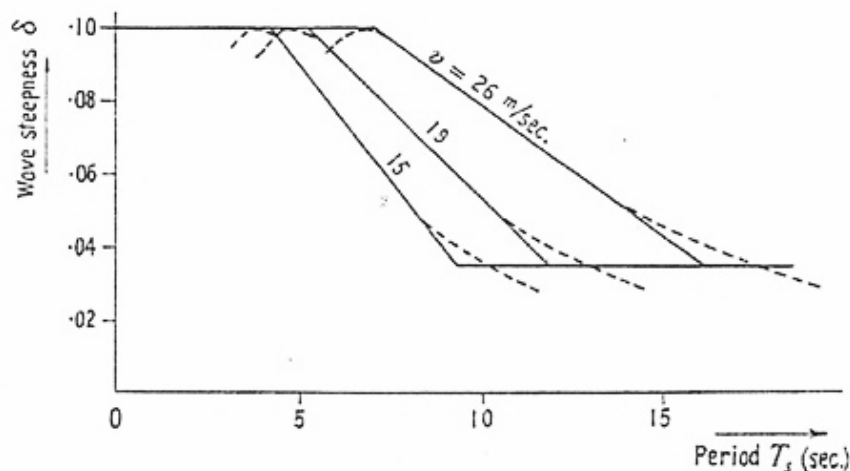
Koefisien efektif slope gelombang sangat tergantung pada panjang gelombang dan lebar kapal. Ketika panjang gelombang lebih kecil dari lebar kapal maka koefisien efektif slope gelombang samadengan nol. IMO menggunakan parameter jarak titik berat terhadap permukaan air tenang dan sarat kapal untuk mengestimasi koefisien efektif slope gelombang seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Penentuan koefisien efektif slope gelombang IMO (IMO, 2008)

Untuk kapal-kapal yang beroperasi di Perairan Indonesia, koefisien efektif slope gelombang dapat diestimasi dengan metode yang sama dengan yang dipakai oleh Watanabe (1938) yaitu dengan mengintegrasikan tekanan gelombang terhadap badan kapal yang ada di bawah permukaan air pada kondisi air tenang atau dengan menggunakan teori strip dengan mengabaikan pengaruh difraksi gelombang. Karena persamaan untuk menentukan sudut oleng akibat angin dan gelombang diformulasikan pada kondisi resonansi maka estimasi koefisien efektif slope gelombang juga harus dilakukan pada frekwensi resonansi dimana frekwensi gelombang sama dengan frekwensi natural oleng kapal.

Parameter gelombang yang dijadikan variable dalam penentuan sudut oleng kapal akibat gelombang dan angin yang bekerja secara bersamaan adalah kelandaian gelombang (wave slope). Kelandaian gelombang yang diberikan oleh IMO adalah kelandaian gelombang berdasarkan kecepatan angin (Sverdrup dan Munk, 1947) dimana gelombang diasumsikan ditimbulkan oleh angin yang berhembus di perairan dengan jarak jangkauan, interval waktu dan kecepatan tertentu. Pada lokasi perairan tertentu, kelandaian gelombang dapat berbeda apabila kecepatan angin yang menyebabkan terjadinya gelombang juga berbeda. Begitu juga, kecepatan angin yang sama akan menyebabkan perbedaan kelandaian gelombang pada lokasi perairan serta durasi waktu angin yang berbeda. Kelandaian gelombang yang dipakai pada kriteria cuaca IMO



Gambar 3. Kelandaian gelombang berdasarkan periode gelombang

untuk kecepatan angin 15 m/det, 19 m/det dan 26 m/det ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada rentang periode gelombang tertentu, kecepatan angin berpengaruh secara signifikan terhadap kelandaian gelombang. Makin tinggi kecepatan angin, makin besar kelandaian gelombang yang terjadi. Kelandaian gelombang yang direkomendasikan oleh IMO pada kriteria cuaca adalah kenlandaian gelombang sesuai dengan kecepatan angin standar pada kriteria cuaca tersebut, yaitu 26 m/det. Penerapan kriteria cuaca IMO pada lokasi perairan dengan kecepatan angin kurang dari 26 m/det atau perairan sempit seperti selat antar pulau yang banyak menjadi lintasan pelayaran di Indonesia akan menjadi overestimate sehingga dapat berdampak terhadap ekonomi pengoperasian kapal dimana dibutuhkan lambung timbul yang lebih besar atau titik berat (KG) yang lebih rendah untuk memenuhi kriteria tersebut. Kelandaian gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 3 memberikan peluang kepada setiap negara untuk mengembangkan kriteria cuaca sendiri sesuai dengan kondisi lingkungan perairan dengan ketentuan bahwa kapal tersebut hanya beroperasi dalam negeri.

3. Parameter Kriteria Cuaca Berdasarkan Kondisi Perairan Indonesia

Kriteria cuaca sebagai bagian dari kriteria stabilitas untuk kapal yang berlayar dalam negeri dapat dikembangkan berdasarkan prosedur penentuan kriteria cuaca IMO. Paling sedikit tiga parameter, yaitu kecepatan angin, kelandaian gelombang dan koefisien efekti slope gelombang dapat

diformulasikan sesuai dengan kondisi Perairan Indonesia. Formulasi ketiga parameter tersebut memerlukan data yang banyak untuk memperoleh suatu model formulasi yang bersifat umum dan dapat diaplikasikan untuk semua kapal yang beroperasi dalam negeri serta praktis sehingga mudah untuk diaplikasikan. Parameter kelandaian gelombang sangat tergantung pada tinggi dan panjang gelombang. Tinggi dan panjang gelombang tersebut dapat diestimasi berdasarkan kecepatan angin pada lokasi perairan dengan asumsi bahwa gelombang yang terjadi sepenuhnya ditimbulkan oleh angin. Asumsi ini sesuai dasar penentuan kelandaian gelombang yang dipakai oleh IMO seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) membagi Perairan Indonesia menjadi 18 zona dan empat diantara zona tersebut dijadikan dasar klasifikasi kondisi perairan. Kecepatan angin, tinggi gelombang signifikan dan tinggi gelombang rata-rata yang ditunjukkan pada empat zona perairan tersebut tidak dapat dipakai untuk menentukan parameter gelombang yang dibutuhkan untuk kriteria cuaca, yaitu kelandaian gelombang. Untuk mendapatkan kelandaian gelombang diperlukan tinggi dan panjang gelombang. Dengan data angin yang tersedia, panjang dan tinggi gelombang dapat diperoleh dengan memakai metode hint casting gelombang. Lokasi perairan yang dipilih sebagai dasar untuk penentuan parameter cuaca untuk Perairan Indonesia ditunjukkan pada Gambar 4.

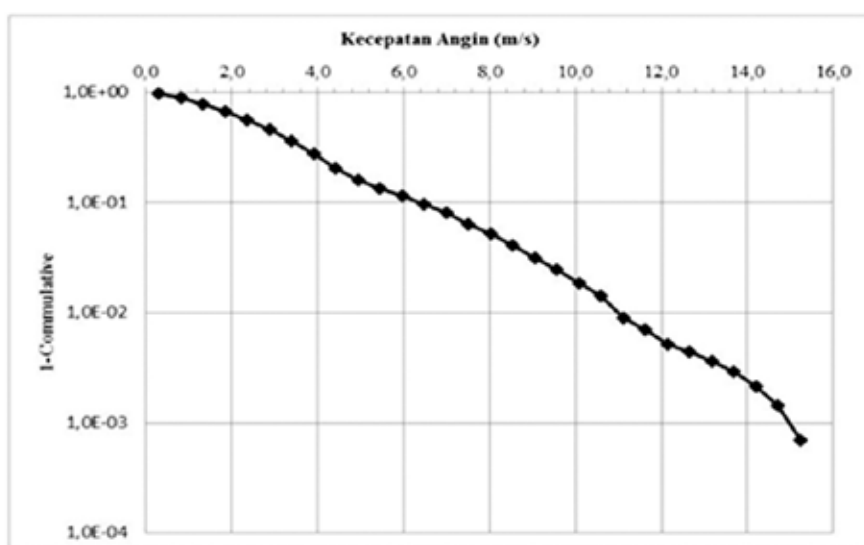


Gambar 4. Lokasi perairan standar angin dan gelombang Indonesia

tersebut juga diidentifikasi oleh KNKT sebagai lokasi yang rawan terjadi kecelakaan kapal bersama dengan lokasi perairan lainnya seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Empat zona yang dijadikan dasar kecepatan angin dan tinggi gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 4 meliputi Laut Natuna, Laut Jawa, Selat Makassar dan Laut Arafura. Lokasi

Kecepatan angin maksimum yang mungkin terjadi di Selat Makassar adalah 15 m/detik dengan peluang kejadian 10-3. Kecepatan angin tersebut lebih tinggi dibandingkan

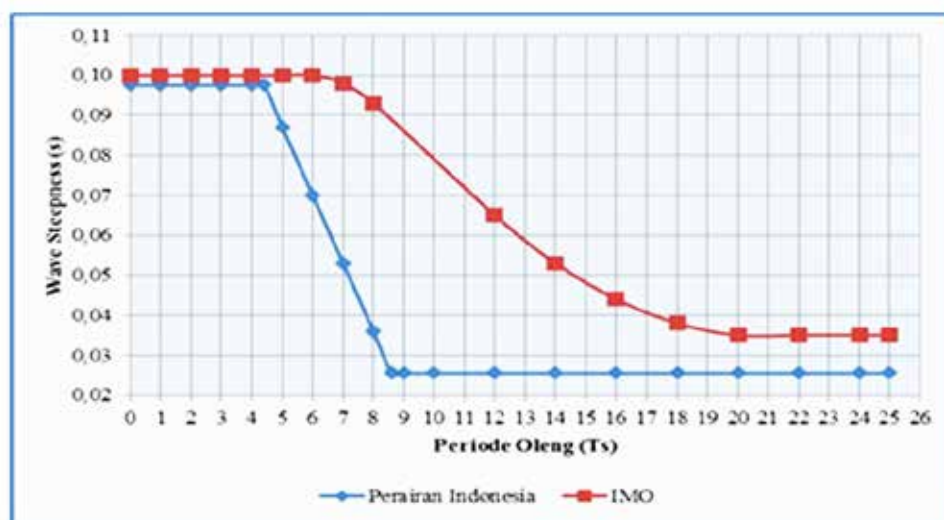


Gambar 5. Probabilitas kecepatan angin di Selat Makassar.

dengan data skala beaufort BMKG. Peluang kejadian untuk setiap kecepatan angin yang dapat terjadi di Selat Makassar ditunjukkan pada Gambar 5.

Data ini menunjukkan bahwa untuk Selat Makassar, kecepatan angin untuk kriteria cuaca dapat diambil 16 m/detik yang mana sebanding dengan tekanan angin sama dengan 135 N/m². Dengan kecepatan angin 16 m/detik, kelaian gelombang

Selain data lingkungan, pengaruh karakteristik hidrodinamika seperti interaksi antara kapal dan gelombang juga dapat berbeda antara kriteria IMO dengan kondisi kapal yang beroperasi dalam negeri. Kapal penyeberangan antar pulau yang beroperasi di Indonesia umumnya mempunyai lebar yang relative besar dan sarat yang kecil. Karakteristik desain ini untuk mengakomodir permintaan kapasitas serta kondisi pelabuhan penyeberangan antar pulau. Perbandingan antara



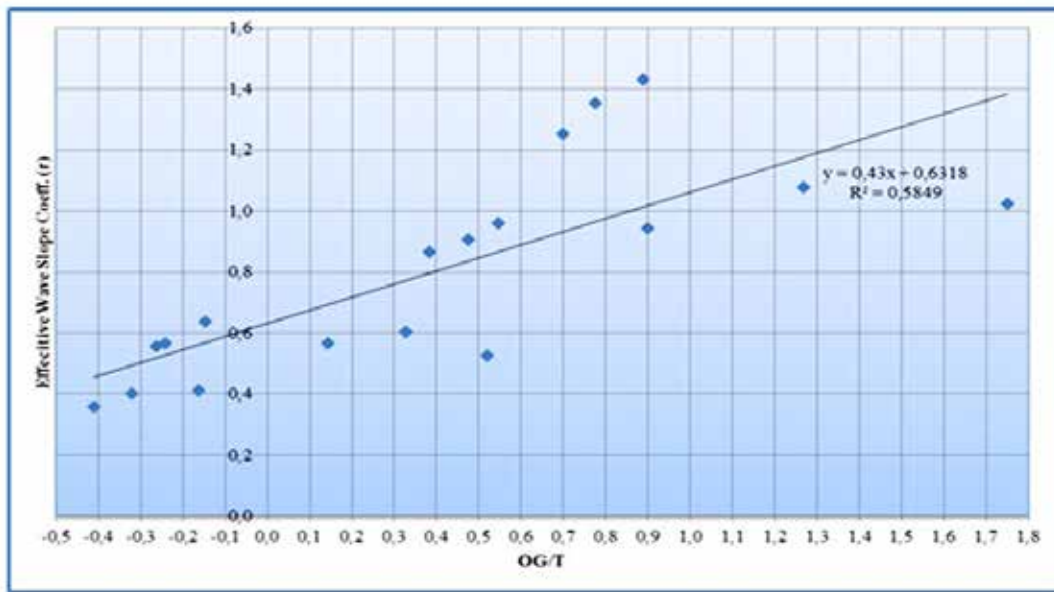
Gambar 6. Kelaian gelombang Perairan Selat Makassar

yang terjadi akan lebih kecil dari yang direkomendasikan oleh IMO seperti ditunjukkan pada Gambar 3 di atas. Hasil estimasi kelaian gelombang perairan Selat Makassar berdasarkan data angin ditunjukkan pada Gambar 6.

Sumbu mendatar pada Gambar 6 di atas adalah periode gelombang dan sumbu vertikal adalah kelaian gelombang (wave steepness). Kurva dengan legen segiempat adalah kelaian gelombang berdasarkan kriteria cuaca IMO dengan kecepatan angin 26 m/detik sedangkan kurva dengan legen belah ketupat adalah kelaian gelombang perairan Selat Makassar dengan kecepatan angin maksimum 16 m/detik. Gambar 6 menunjukkan bahwa kelaian gelombang perairan Selat Makassar lebih kecil dibandingkan dengan kelaian gelombang yang disyaratkan oleh IMO khususnya pada frekwensi gelombang lebih besar dari 4 detik. Kelaian gelombang maksimum Selat Makassar adalah 0.09 dan yang terkecil adalah 0.025. Dengan kelaian gelombang yang lebih kecil, sudut oleng akibat angin dan gelombang yang bekerja secara bersamaan menjadi lebih kecil dibandingkan dengan sudut oleh yang diperoleh berdasarkan kriteria cuaca IMO.

lebar dan sarat kapal menjadi besar serta posisi titik berat kapal yang cukup tinggi dimana semua muatan berada di atas geladak utama. Kriteria IMO seperti ditunjukkan pada Gambar 2 menunjukkan karakteristik hidrodinamika berupa koefisien slope efektif gelombang sebagai fungsi dari rasio jarak titik berat dari permukaan air dan sarat kapal. Dengan posisi titik berat yang relatif tinggi serta sarat yang kecil dapat memberikan koefisien slope efektif gelombang yang lebih besar. Gambar 7 menunjukkan hubungan antara rasio tinggi titik berat dari permukaan air dengan sarat kapal dan koefisien slope efektif gelombang untuk empat kapal penyeberangan antar pulau dengan posisi titik berat dan sarat yang bervariasi.

Koefisien slope efektif gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 5 diperoleh dengan memakai metode Frank Closed Fit dikombinasikan dengan teori strip. Regresi linear yang diperoleh berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa koefisien slope efektif gelombang untuk kapal yang beroperasi dalam negeri lebih kecil dibandingkan dengan kriteria cuaca IMO. Untuk memvalidasi hasil estimasi ini diperlukan beberapa rangkaian pengujian model untuk memberikan



Gambar 7. Koefisien efektif slope gelombang (effective wave slope coefficient)

jaminan terhadap hasil yang diperoleh dari perhitungan. Untuk dapat mengaplikasikan hasil estimasi karakteristik lingkungan dan kapal yang diperoleh pada kriteria cuaca untuk kapal yang beroperasi dalam negeri, diperlukan data tambahan berupa lokasi perairan, type serta kapasitas kapal yang berbeda sehingga hasil akhir yang diperoleh dapat diaplikasikan untuk semua type kapal.

4. Evaluasi Kriteria Cuaca Kapal Penyeberangan Antar Pulau

Parameter kriteria cuaca yang diperoleh berdasarkan data perairan serta data kapal penyeberangan antar pulau pada uraian sebelumnya dipakai untuk mengevaluasi kriteria stabilitas kapal penyeberangan antar pulau yang beroperasi di Indonesia. Hasil evaluasi tersebut dibandingkan dengan

hasil evaluasi berdasarkan kriteria cuaca IMO. Data kapal penyeberangan yang digunakan untuk evaluasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Prosedur evaluasi mengacu pada metode evaluasi kriteria cuaca IMO (keseimbangan energi) dimana energi momen oleng akibat angin dan gelombang lebih kecil atau sama dengan energi momen pengembali kapal. Parameter yang dianalisis hanya yang berhubungan dengan kondisi perairan seperti kecepatan angin, kelandaian gelombang serta koefisien slope efektif gelombang. Parameter lain diasumsikan sama dengan kriteria cuaca IMO. Faktor fluktuasi angin diasumsikan sama dengan kriteria IMO yaitu 50 persen lebih besar dari kecepatan angin konstan.

Tabel 1. Ukuran utama kapal sampel

Model	L_{OA}	L_{WL}	L_{BP}	B	H	T	B/T	Cb	Δ
	m	m	m	m	m	m			Ton
200 GT	30,870	25,542	24,180	9,000	2,700	1,900	4,737	0,677	303,084
300 GT	40,000	36,226	34,500	10,500	2,800	2,000	5,250	0,686	534,919
500 GT	45,500	41,744	40,150	12,000	3,200	2,150	5,581	0,654	721,964
750 GT	54,500	49,766	47,250	14,000	3,400	2,450	5,714	0,704	1231,752

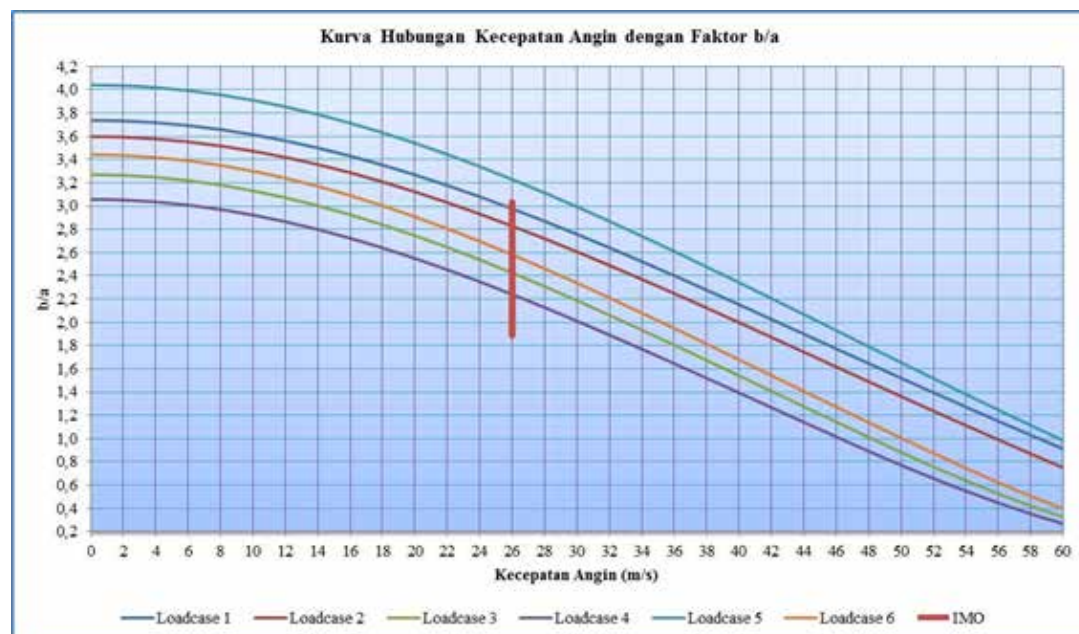
Hasil evaluasi kriteria cuaca untuk masing-masing kapal sampel pada berbagai kondisi pemuatan ditunjukkan pada Gambar 8 – 11.

Berdasarkan hasil evaluasi untuk keempat kapal sampel seperti ditunjukkan pada Gambar 8 – 11 di atas, keempat kapal sampel memenuhi kriteria cuaca sesuai dengan kondisi

perairan Selat Makassar. Demikian pula halnya dengan penerapan kriteria cuaca IMO kecuali untuk kapal 200 GT dimana pada kondisi pemuatan tertentu tidak memenuhi kriteria cuaca. Rasio antara energi momen pengembali dengan energi momen oleng untuk kecepatan angin 16 m/detik lebih besar dibandingkan dengan pada kecepatan angin 26 m/detik. Selain disebabkan karena kelandaian gelombang yang



Gambar 8. Hasil evaluasi kriteria cuaca kapal 200 GT.



Gambar 9. Hasil evaluasi kriteria cuaca kapal 300 GT.



Gambar 10. Hasil evaluasi kriteria cuaca kapal 500 GT.



Gambar 11. Hasil evaluasi kriteria cuaca kapal 750 GT.

lebih kecil, lengan pengganggu akibat angin juga lebih kecil. Begitu juga dengan koefisien slope efektif gelombang yang lebih kecil dari yang disyaratkan oleh IMO.

Hasil ini menunjukkan bahwa kapal sampel masih dapat memenuhi kriteria cuaca berdasarkan kondisi perairan daerah pelayaran pada lengan stabilitas yang lebih kecil. Pengurangan lengan stabilitas dapat terjadi dengan bertambahnya posisi

titik berat (KG) atau akibat pengurangan lambung timbul. Kedua kemungkinan penyebab tersebut dapat terjadi akibat kelebihan muatan atau penempatan muatan pada posisi yang lebih tinggi. Kemungkinan pergeseran titik berat juga dapat terjadi akibat perubahan atau evolusi karakteristik muatan khususnya untuk muatan kendaraan. Perubahan karakteristik kendaraan termasuk dimensi serta muatan yang diangkut dapat berpengaruh terhadap perubahan sarat dan titik berat.

Kondisi ini mungkin untuk terjadi khususnya untuk kapal-kapal yang sudah berumur lebih dari sepuluh tahun. Untuk melihat kemungkinan-kemungkinan tersebut, diperlukan data kapal yang meliputi type dan kapasitas yang berbeda sehingga dapat dirumuskan formula atau standar untuk penentuan masing-masing variabel sehingga dapat berlaku untuk semua type dan ukuran kapal yang beroperasi dalam negeri.

5. Kesimpulan dan Saran

Data karakteristik perairan yang meliputi angin dan gelombang untuk perairan Selat Makassar telah ditentukan sesuai dengan variabel pada evaluasi kriteria cuaca IMO untuk empat kapal penyeberangan antar pulau dengan ukuran yang berbeda. Hasil pemulasi dari variabel tersebut digunakan untuk mengevaluasi kriteria cuaca dari empat kapal sampel dan dibandingkan dengan hasil evaluasi dengan memakai kriteria cuaca IMO. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, beberapa kesimpulan dan saran dapat dibuat sebagai berikut:

1. Kelandaian gelombang perairan Selat Makassar lebih kecil dibandingkan dengan standar yang diberikan oleh IMO khususnya pada periode gelombang lebih besar dari 4 detik. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan kecepatan angin yang dijadikan acuan dalam penentuan kelandaian gelombang. Kriteria IMO menggunakan kecepatan angin 26 m/detik sedangkan kecepatan angin maksimum di perairan Selat Makassar adalah 16 m/detik dengan peluang kejadian 10-3. Selain faktor kecepatan angin, panjang penjalaran gelombang atau durasi dari gelombang juga dapat berpengaruh terhadap karakteristik gelombang.
2. Koefisien slope efektif gelombang yang diperoleh sesuai dengan empat kapal sampel lebih kecil dibandingkan dengan koefisien slope efektif gelombang IMO. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan karakteristik geometri dari kapal sampel dengan kapal yang dijadikan dasar untuk penentuan koefisien oleh IMO. Dengan memakai kriteria IMO, koefisien slope efektif gelombang untuk kapal yang dijadikan sampel dapat menjadi lebih besar akibat rasio jarak vertikal titik berat terhadap permukaan air dengan sarat kapal yang besar.
3. Kapal sampel masih dapat memenuhi kriteria cuaca sesuai dengan karakteristik daerah pelayaran meskipun lengan stabilitas lebih kecil dibandingkan dengan kondisi kapal sebenarnya melalui penambahan kapasitas muat atau pada titik berat yang lebih besar.

4. Perlu adanya pengujian model khususnya untuk estimasi koefisien slope efektif gelombang dengan type dan kapasitas kapal yang bervariasi untuk memvalidasi hasil estimasi yang telah diperoleh serta memformulasikan kriteria cuaca yang dapat diaplikasikan untuk semua type dan kapasitas kapal yang beroperasi dalam negeri. Data lingkungan juga perlu diambil pada lokasi perairan yang berbeda-beda khususnya yang merupakan lintasan pelayaran dalam negeri sehingga hasil estimasi parameter angin dan gelombang pada kriteria cuaca menjadi lebih akurat.

Daftar Pustaka

- *International Maritime Organization (IMO) (2002), Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments, London.*
- *International Maritime Organization (IMO) (2008), Explanatory Notes To The International Code on Intact Stability, MSC.1/Circ.1281, London.*
- *Japan (1982), Weather Criteria, Results of Japanese Ships, SLF/7.*
- *Kobylinski, L.K and Castner, S (2003), Stability and Safety of Ships Volume I, Elsevier (Oxford, UK).*
- *Komisi Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT)*
- *Rahola, J. (1939), The Judging of the Stability of Ships and the Determination of the Minimum Amount of Stability, Thesis for Degree of Doctor of Technology University of Finland, Helsinki.*
- *Schueler, G.I (1981) Einfuhrung in die Sicherheit und Zuverlassigkeit von Tragwerken. Translated into Japanese by Konishi, I., Takaoka, Y and Ishikawa H, Maruzen, Tokyo, pp. 1 – 266.*
- *Sverdrup, H.U and Munk, W.H (1947), Wind, Sea and Swell, Theory of Relations for Forecasting, Hydrographic Office Publication No. 601.*
- *Watanabe, Y (1938), Some Contributions on the Theory of Rolling, Transaction of the Institution of Naval Architects, pp. 408 – 432.*
- *Watanabe, Y., et, al, (1955), Report of the Ocean Wind About Japan on the Naval-Architectural Point of View, Journal of Society of Naval Architects of Japan, Vol. 96, pp. 37 – 42.*
- *Watanabe, Y., et, al, (1956), A Proposed Standard of Stability for Passenger Ships (Part III: Ocean-going and Coasting Ships), Journal of Society of Naval Architects of Japan, Vol. 99, pp. 29 – 46.*

CRANKSHAFT (1) :

Faktor Penyebab Kerusakan dan Metode Pencegahannya



Eko Maja Priyanto

- (Staff R & D BKI)
- Email : eko.maja@bki.co.id

Abstract

Crank shaft is one of the most important parts in the ship propulsion engine. Some of crankshaft damages cause the vessel could not be operated and should be repaired which need long time and high cost. The information of damage casualties and its prevention methods are required for ship operators, field surveyors, and the owner of the vessel as well. The following article provides an overview of types of crankshaft, type of damage and the casualty factor, as well as other aspects related to engine operation and maintenance for minimizing crank shaft failure.

Key words : Crankshaft, Casualty Factor, Failure

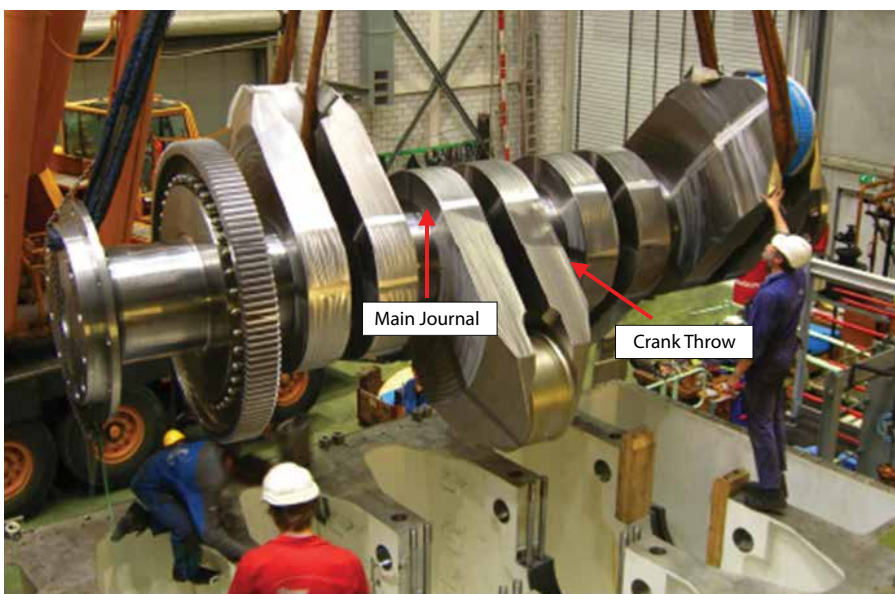
1. Pendahuluan

Poros engkol (crankshaft) merupakan komponen mesin yang sangat penting terkait fungsinya mengkonversi gaya dorong piston akibat ledakan didalam cylinder dan menjadi gaya putar untuk menggerakkan propeller atau untuk menggerakkan rotor apabila mesin diperuntukkan sebagai alternator. Jadi selama mesin beroperasi, maka crankshaft secara terus menerus akan menerima gaya yang besar dari hasil pembakaran, mengkonversinya dengan seefisien mungkin,

dan menyalurkannya ke keporos baling-baling. Oleh karena itu sesuai dengan persyaratan dari IACS UR M53, maka desain crankshaft harus mempertimbangkan evaluasi keamanan dan besarnya beban yang ditanggung oleh crankshaft terhadap kelelahan bahan crankshaft [1].

2. Desain Crankshaft

Secara umum IACS mengklasifikasikan crankshaft menjadi 2 yaitu crankshaft utuh-tempa (solid-forged) dan semi utuh (semi-built) dengan satu poros engkol yang menyatu dengan pipi engkol (web) / crank throw diantara jurnal utama (main journal). Crankshaft jenis solid forged terbuat dari besi batangan utuh yang ditempa dan dibentuk menjadi bentuk yang kompleks, biasanya crankshaft jenis ini digunakan pada mesin putaran menengah sampai putaran tinggi dengan diameter silinder liner kurang dari 600 mm, dan umumnya dikembangkan untuk mesin-mesin 4 langkah. Sedangkan crankshaft jenis semi-built dibuat dengan merakit crank throw dengan main journal, secara luas digunakan di mesin-mesin laut besar dengan diameter lebih dari 400 mm, dan umumnya diaplikasikan untuk mesin-mesin 2 langkah [4].



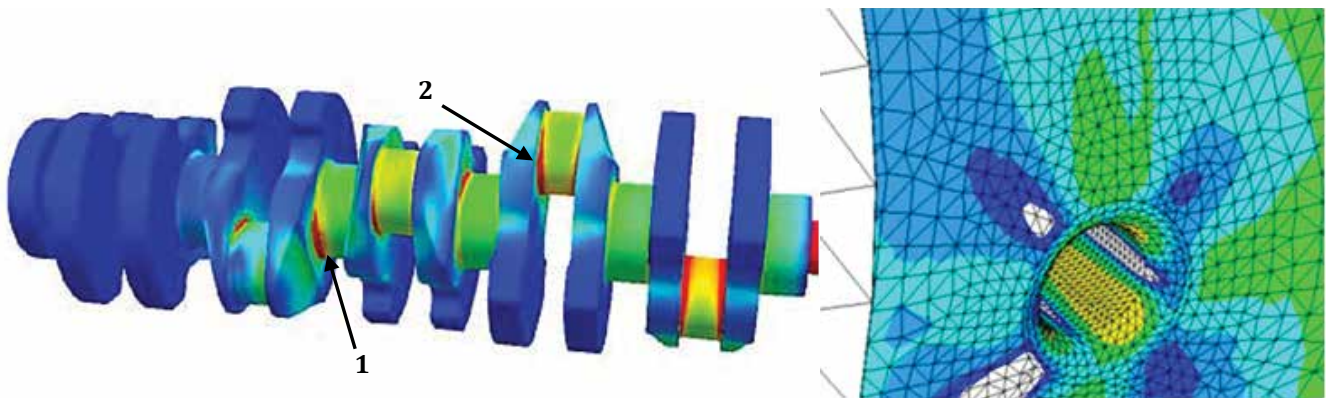
Gambar 1. Pemasangan Crankshaft tipe Semi-Built pada Engine Bed

Dengan desain yang kompleks dan menerima gaya luar yang besar, bukan tidak mungkin komponen ini mengalami kegagalan kerja. Kegagalan fungsi dari crankshaft akan membuat mesin tersebut mengalami break down dalam waktu yang cukup lama dan bisa jadi kapal itu sendiri tidak dapat beroperasi apabila mesin tersebut digunakan sebagai mesin induk. Selain itu reparasi maupun penggantian crankshaft membutuhkan tenaga ahli dan biaya yang sangat besar.

Dari beberapa jenis kerusakan diatas umumnya disebabkan oleh beberapa faktor berikut :

- Getaran

Mesin yang bekerja pada kondisi getaran terutama getaran torsional melampaui batas yang diijinkan, akan memicu keretakan pada main journal dan crankpin journal. Sedangkan getaran pada mesin umumnya



Gambar 2 : Daerah kritis pada Crankshaft (1. fillet main journal, 2. fillet crankpin, 3. Lubang pelumas)

3. Jenis Kerusakan dan Faktor Penyebab

Kegagalan Fungsi Crankshaft

Berdasarkan perhitungan dalam IACS UR M53, maka daerah yang sangat berpotensi mengalami kegagalan akibat dikenai tekanan yang tinggi adalah [1]:

- Daerah sekitar lengkungan (fillet) antara pena engkol (crankpin) and web begitu juga antara web dengan main jurnal untuk tipe solid-forged.
- Daerah disekitar lubang keluaran minyak pelumas pada crankpin

Umumnya kerusakan yang sering terjadi pada crankshaft adalah :

- Keretakan pada crankshaft, kadang berakhir dengan patahnya crankshaft
- Kerusakan crankshaft karena nilai kekerasan (hardness) melebihi batas yang diijinkan oleh pabrikan crankshaft
- Crankshaft bengkok

dapat disebabkan oleh beberapa hal berikut:

- Miss-alignment antara poros baling-baling dengan crankshaft
- Kegagalan fungsi vibration damper karena kurangnya perawatan, misalnya perawatan penggantian fluida ataupun penggantian elemen pegas dalam damper
- Mesin dioperasikan pada daerah putaran terlarang (barred speed range) karena pada daerah tersebut terjadi lonjakan nilai getaran puntir (torsional vibration)
- Pelumasan yang tidak mencukupi

Apabila pelumasan bantalan di crankshaft kurang, maka dapat memicu terjadinya kontak logam antara bearing dengan journal secara intens. Selain menyebabkan permukaan journal terkikis, gesekan yang intens antar logam tersebut dapat menimbulkan HAZ (heat affected zone) dan memicu peningkatan nilai hardness pada permukaan crankshaft.

Beberapa hal yang dapat menyebabkan kurang maksimalnya fungsi pelumasan adalah:

- Kadar pelumas turun akibat dari kontaminasi dengan cairan lain mengakibatkan fungsi lapisan film pelumas menjadi menurun.
- Clearance yang kecil (dibawah nilai minimum yang direkomendasikan oleh pabrikan mesin) antara big end bearing dengan crank pin, hal ini mungkin terjadi karena bore pada big end bearing cap sudah oval ataupun pemasangan big end bearing cap yang tidak sesuai dengan prosedur pabrikan mesin. Clearance yang kecil membuat pelumas tidak terdistribusi sempurna kesemua lapisan journal.
- Suhu pelumas yang melebihi ambang batas, suhu yang tinggi dapat mencairkan pelumas dan menurunkan fungsi lapisan film pelumas sehingga memungkinkan terjadinya kontak antar logam.
- Tekanan pelumasan ke crankshaft turun drastis. Hal ini mungkin terjadi karena kegagalan fungsi pompa

pelumas mesin atau ada kebocoran/ kerusakan sistem pelumasan sebelum jalur distribusi pelumas ke crankshaft misalnya filter oli rusak ditambah dengan tidak bekerjanya perangkat pengaman (safety device) terhadap tekanan oli yang rendah dibawah nilai yang ditetapkan.

- Over Pressur pada ruang bakar

Hal ini dapat terjadi karena ada air yang bocor dan masuk kedalam ruang bakar, sehingga menyebabkan timbulnya efek hydraulic lock didalam ruang bakar dan menyebabkan tekanan balik melawan gaya kompresi piston keatas. Tekanan balik yang tinggi ditambah safety valve pada cylinder head yang tidak bekerja maksimal dapat menyebabkan crankpin journal menjadi bengkok, connecting rod bengkok, dan piston crown rusak.

- Overspeed dan Overload

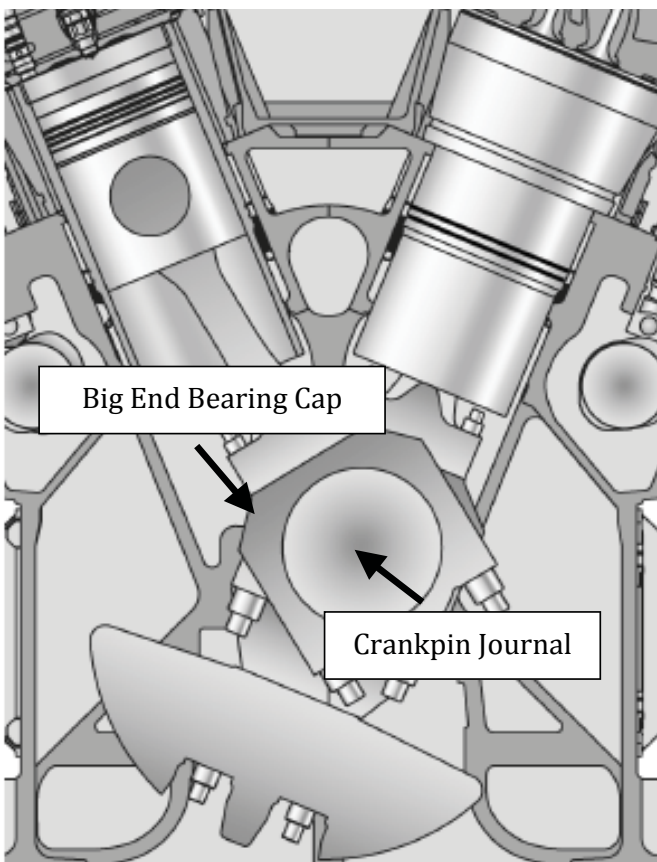
Mesin yang sering mengalami overspeed atau terlalu lama dioperasikan diatas beban yang diperbolehkan oleh pabrikan mesin menyebabkan gaya inersia pada crankshaft meningkat dan crankshaft mengalami tegangan lentur berlebih. Kondisi tersebut dapat mengurangi ketahanan bahan terhadap kelelahan (fatigue strenght) yang pada akhirnya memicu keretakan terutama didaerah kritis sekitar fillet.

- Penyimpangan nilai defleksi

Engine maker atau pabrikan crankshaft telah membuat batasan atau toleransi terhadap nilai penyimpangan defleksi dari crankshaft. Namun apabila crankshaft beroperasi pada kondisi diluar nilai toleransi penyimpangan defleksi maka bisa menyebabkan crankshaft tersebut rusak atau mungkin tidak dapat digunakan lagi.

Beberapa sebab crankshaft mengalami miss-alignment adalah:

- Kegagalan fungsi dari main bearing
- Baut pondasi mesin yang kendur/ patah atau choke pada pondasi mesin rusak
- Keretakan pada dudukan bearing
- Kesalahan prosedur dalam melakukan overhaul main bearing



Gambar 3: Penampang melintang big end bearing cap

- Kapal mengalami kandas, terutama apabila tepat mengenai bagian bawah engine girder yang menyebabkan bedplate/ transverse girder mengalami deformasi
- Ledakan pada crankcase atau kebakaran akibat blow by api pembakaran ke crankcase
- Kerusakan atau keausan pada stern tube atau intermediate shaft bearing
- Tie bolts kendor atau patah
- Kekuatan pondasi mesin yang menurun karena korosi

Kegagalan fungsi crankshaft dapat terjadi sewaktu-waktu selama mesin beroperasi. Berikut adalah hal-hal yang dapat dilakukan apabila mesin mati karena terjadi overspeed, overload atau bahkan kegagalan bearing saat beroperasi normal:

- Cek axial clearance atau kebebasan dari big end bearing.
- Ukur dan bandingkan temperature pada masing-masing journal.
- Bongkar big end bearing yang dicurigai dan lakukan pemeriksaan dengan menggunakan alat ukur kekerasan (hardness).
- Lakukan pemeriksaan dengan menggunakan penetrant dan MPI (Magnetic Particle Inspection) pada daerah yang dicurigai terjadi keretakan.
- Data yang didapat harus dilaporkan kepada Surveyor untuk dilakukan survey kerusakan dan kepada teknisi ahli pabrikan untuk mendapatkan keputusan dan rekomendasi.

4. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam operasional dan perawatan mesin

Untuk meminimalkan terjadinya kerusakan yang fatal pada komponen crankshaft perlu ada kerjasama dan komitmen yang baik antara semua pihak, baik itu operator kapal, pemilik kapal, tenaga ahli dari pabrikan mesin serta surveyor klasifikasi. Selain itu mengingat banyaknya faktor yang dapat memicu kerusakan, maka dirasa penting untuk mengetahui berbagai pemeriksaan dan observasi yang perlu dilakukan secara teratur. Berikut adalah beberapa hal penting yang dapat dilakukan dalam pengoperasian, pemeriksaan dan observasi pada mesin pada umumnya dan crankshaft pada khususnya:

- Apabila mesin beberapa lama tidak dioperasikan (lebih dari satu hari), maka disarankan untuk melakukan pelumasan awal dengan memutar mesin menggunakan turning gear / manual dan jangan lupa untuk membuka katup indikator pada masing-masing cylinder head.
- Diusahakan untuk menghindari pengoperasian mesin didaerah barred speed range. Beberapa pabrikan mesin telah memasang vibration damper jenis steel spring damper yang lebih efektif daripada jenis viscous damper dalam meminimalisir munculnya daerah terlarang tersebut.
- Pemeriksaan dan pengukuran rutin defleksi crankshaft. Pemeriksaan ini dapat dilakukan oleh awak kapal atau oleh teknisi pabrikan mesin dengan mengacu kepada standar yang telah ditetapkan oleh pabrikan mesin. Misalnya pada panduan perawatan (maintenance manual) mesin Wartsila RT-Flex 68-D terkait jadwal perawatan dicantumkan bahwa pengecekan dan pengukuran defleksi crankshaft dilakukan setiap 6000-8000 jam operasi mesin. Hal ini sangat membantu dalam pendeteksian awal terhadap penyimpangan yang terjadi dengan menganalisa trend perubahan nilai defleksi.

- Pemeriksaan kondisi dan ikatan baut pada pondasi mesin sesuai dengan jadwal dan instruksi pada panduan perawatan mesin.
- Pemeriksaan secara berkala terhadap kondisi dan kualitas oli. Pemeriksaan ini dapat dilakukan di laboratorium dan apabila ada rekomendasi dari hasil pemeriksaan maka harus segera ditindaklanjuti.
- Pemeliharaan rutin terhadap sistem pelumasan mesin seperti separator oli, penggantian rutin filter oli mesin, pembersihan pendingin oli mesin, dan pengecekan kebocoran perpipaan sistem oli.
- Pemeriksaan berkala terhadap nilai viskositas dari cairan fluida dalam vibration damper jenis viscous damper ataupun mengganti komponen didalamnya sesuai dengan panduan perawatan pabrikan mesin.
- Pemeriksaan kinerja sensor alarm dan pengaman mesin, seperti safety device untuk low oil pressure, safety device untuk over speed trip, dsb



Gambar 4: Pemasangan sensor untuk memonitor crankpin

- Apabila dimungkinkan memasang sensor big end bearing dan sensor main bearing untuk memonitor secara berkesinambungan terhadap kondisi bearing dengan crankshaft saat beroperasi. Sensor ini sangat efektif dalam mencegah sejak dini kerusakan yang lebih fatal pada crankshaft akibat kegagalan fungsi bearing.

Pada pembangunan kapal baru, kerja sama yang baik antara pihak galangan/ pabrikan mesin dengan surveyor dalam penempatan instalasi sistem penggerak dan pemeriksaan kelurusan sistem propulsi sangat diperlukan. Dalam hal ini BKI telah membuat panduan umum "Regulations for the Seating of Propulsion Plants" sebagai tambahan dari Rules BKI Volume III terkait dengan kedudukan dan kelurusan instalasi. Untuk kapal yang akan melakukan pengedokan, maka Owner

surveyor dan pihak galangan perlu memberikan perhatian khusus dalam memeriksa docking plan terutama penempatan penumpu dibawah daerah kamar mesin.

Referensi

1. IACS UR M53, "Calculation of Crankshaft for Internal Combustion Engine", 2nd Revision, January 2011
2. BKI, "Volume III : Rules for Machinery Installation", 2013
3. NKK, "Failures of Marine Machinery and Preventive Maintenance", September 1992
4. Kubo, H., Mori, H, "Technical Developments and Recent Trends in Crankshaft Materials", Kobelco Technology Review No. 26, December 2005
5. Wartsila, "Maintenance Manual (Marine) with Pulse Lubrication: Wartsila RT-FLEX 68-D", July 2011

BKI GUIDELINE FOR FLOATING LIQUEFIED GAS TERMINAL



Ahmad Zakky

- An Analyst of Research and Development Department, PT. BKI (Persero)
- Email: ahmad.zakky@bki.co.id

Abstract

Natural gas will be the fastest growing major fuel through 2030 because of its environmental benefits, large resource base and flexibility as an efficient fuel. For efficiency production, the reduction in liquefaction costs was a key driver of the LNG boom

in early 2000s. However, LNG plant cost has increased in the last few years and cost overrun and delay are common experience for conventional onshore LNG projects. Floating Liquefied Gas Terminal (FLGT) include FSRU is the new technology which is an important development for the LNG industry as it reduces both the project costs and environmental footprint. Today, Indonesian government in cooperation with INPEX Masela is preparing for construction FLNG Masela used in gas exploration in Masela gas field. This paper will introduce the Guideline for Classification and Construction Floating Liquefied Gas Terminal which is launched by BKI as classification society which classifying FLNG Masela by dual class with ABS.

Key words: LNG, FLNG, FSRU, Liquefied, Gas.

1. Background

According to the IEA WEO2010 data, world primary energy demand increases by 36% between 2008 and 2035, or 1.2% per year on average. This compares with 2% per year over the previous 27-year period. Natural gas will be the fastest growing major fuel through 2030 because of its environmental benefits, large resource base and flexibility as an efficient fuel (Flex LNG,

2008). However, LNG plant cost has increased in the last few years and cost overrun and delay are common experience for conventional onshore LNG projects. Floating Liquefied Gas Terminal (FLGT) include FSRU is the new technology which is an important development for the LNG industry as it reduces both the project costs and environmental footprint.

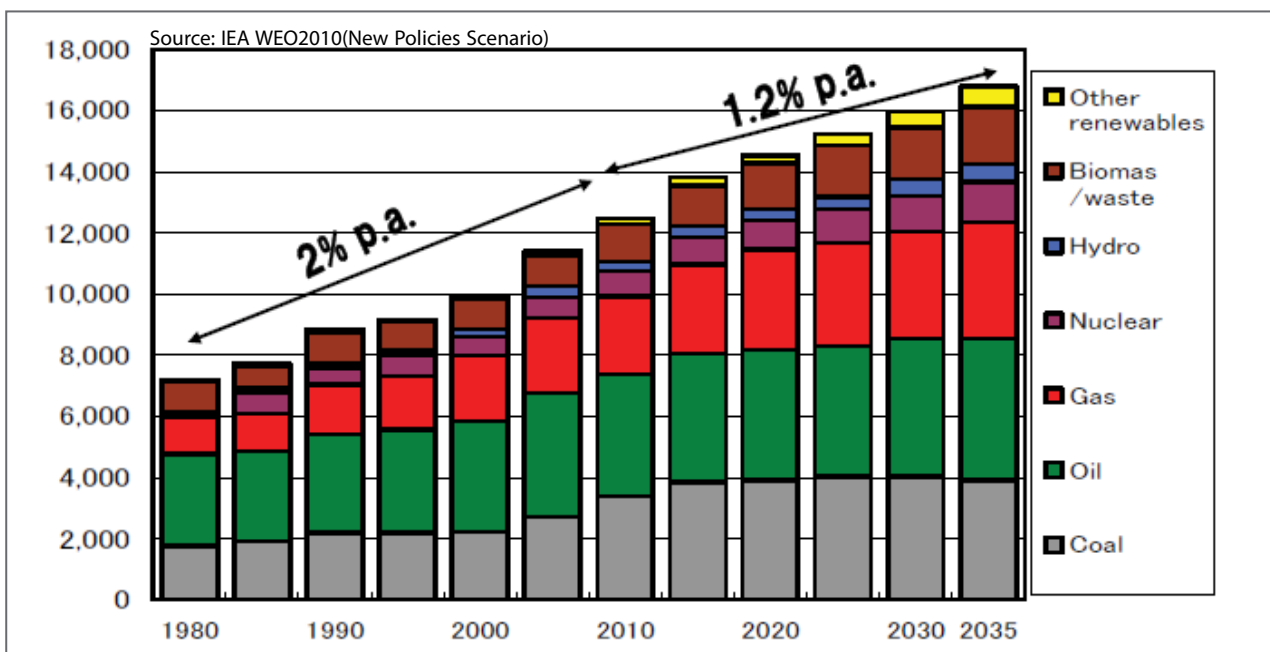


Fig 1. World primary energy demand

Since 2003 to 2012, the growth of domestic gas demand to be increased an average of 9% per year due to government policy to increase the use of gas until 2025. The major programs in the government's blueprint for national energy management 2006-2025 is an increase in domestic gas utilization consisting of improvement and development of gas supply infrastructure and development utilization of CNG, GTL, DME, LPG and Gas City. Infrastructures that will be developed include pipeline and construction of the FSRU for distribution of gas. The Indonesia currently has three unit of FSRU:

- Eas Java FSRU by Nusantara Regas with 3 MTPA capacity.
- Lampung FSRU by PGN with 3 MTPA capacity.
- Arun Regasification by Pertamina with 1.5 MTPA capacity.

On the other hand, increase exploration activities for Gas are also included in the government's blueprint for national energy management 2006-2025 main programs. Today, Indonesian government in cooperation with INPEX Masela is preparing for construction FLNG Masela used in gas exploration in Masela gas field.

BKI as the national classification has an important role in the implementation of major government programs mentioned above especially to build and classificate FSRU and FLNG. Therefore the BKI has prepared Guideline for Floating Liquefied Gas Terminals (FLGT) to cover development of FLNG and FSRU that will be introduced through this publication.

2. Introduction BKI Guideline for FLGT

2.1. Definition of FLGT

A Floating Offshore Liquefied Gas Terminal provides liquefied gas storage and receives and/or offloads liquefied gas. There are two major variations of offshore liquefied gas terminal: Load Terminals and Discharge Terminals, with various configurations of each.

A Load Terminal receives gas directly from one or more wells or from another offshore facility where it may or may not have been processed. The gas is liquefied in an onboard

liquefaction facility and stored for offloading as liquefied gas to a trading liquefied gas carrier. Alternatively, a Load Terminal may receive liquefied gas from a liquefaction plant via a pipeline. A Discharge Terminal (i.e. FSRU) receives liquefied gas from trading liquefied gas carriers and stores it. In such terminals, the stored liquefied gas is normally vaporized in a re-gasification facility and discharged ashore. However, offloading liquefied gas in a lightering operation is also feasible.

2.2. Application of Guideline

This Guide contains provisions for the classification of new build floating offshore liquefied gas terminals. This Guide is intended for use in conjunction with the Seagoing Ship Part.1 and Offshore Technology Part.6 or other applicable BKI Rules and Guidelines.



Source: <http://www.esdm.go.id/images/stories/migas>

Fig.2. FSRU type of discharge terminal



(Source: http://www.dnv.com/industry/oil_gas/publications/updates/)

Fig.3. FLNG/FPSO LNG type of loading terminal

3. Classification

3.1. Notation of Classification

Floating offshore liquefied gas terminals (FLGT) that have been built, installed and commissioned fully complies of this Guidelines and satisfaction of the BKI Surveyors to the full requirements, where approved by the BKI HO for service for the specified design environmental conditions, may be classed and distinguished in the BKI Register by the symbol E A100, followed by Offshore Liquefied Gas Terminal and the appropriate notation for the intended service listed below:

Class notations were chosen to provide a clear description of the function of each configuration using the following symbols:

F	Floating
L	Liquefaction Facility
O	Transfer of Liquefied Gas (Offloading/ Loading)
P	Gas Processing Facility
R	Re-Gasification Facility
S	Storage Facility
T	Terminal with processing facilities which are not classed

For floating terminals designed for LPG or combined LNG/ LPG, the class notations are, respectively:

F (LPG) PLSO, F (LPG) ORS, F (LPG) SO, and F (LPG) T

F (LNG/LPG) PLSO, F (LNG/LPG) ORS, F (LNG/LPG) SO, and F (LNG/LPG) T

For floating terminals designed for liquefied gases other than LNG or LPG, the class notations will indicate in parentheses the specific product.

4. Survey for Certification

4.1. Survey During Construction

During construction of equipment components for an offshore liquefied gas terminal, the attending Surveyor is to have access to vendors' facilities to witness construction and/or testing, as required by this Guidelines. The vendor is to contact the attending Surveyor to make necessary arrangements. If the attending Surveyor finds reason to recommend repairs or additional surveys, notice will be immediately given to the Owner or Owner's Representative so that appropriate action may be taken. Coordination of the vendors' certification program is carried out through BKI's Vendor Coordinators.

4.2. Periodical Survey

An Annual Survey of the terminal is to be carried out within three (3) months before or after each annual anniversary date of the crediting of the previous Special Periodical Survey or original construction date.

For terminals on Continuous Survey, all Continuous Survey requirements for those parts (items) due are generally to be completed each year. The Annual Survey will not be credited and the Certificate of Classification will not be endorsed unless Continuous Survey items which are due or overdue at the time of the Annual Survey are either completed or granted an extension. An Intermediate Survey of the terminal is to be carried out either at or between the second and third Annual Survey after Special Periodical Survey No. 1 and subsequent Special Periodical Surveys. A Special Periodical Survey of the

TABLE 1. Floating Terminal Configuration

Structure	Structure	Storage	Gas Processing	Liquefaction	Gasification	Position Mooring	Import and Export System	Risers and Flow Lines	Min. System Compliance Required
F(LNG) PLSO	X	X	X	X	-	X	X	Optional	X
F(LNG) ORS	X	X	-	-	X	X	X	Optional	X
F(LNG) SO	X	X	-	-	-	X	X	Optional	X
F(LNG)T	X	X	-	-	-	X	X	-	X

terminal is to be carried out within five (5) years of the initial Classification Survey, and at five-year intervals thereafter. The Special Periodical Survey may be commenced at the fourth Annual Survey and be continued with completion by the fifth anniversary date. Where the Special Periodical Survey is commenced prior to the fourth Annual Survey, the entire survey is to be completed within 15 months if such work is to be credited to the Special Periodical Survey.

A Special Periodical Survey will be credited as of the completion date of the survey but not later than five years from date of build or from the date recorded for the previous Special Periodical Survey. If the Special Periodical Survey is completed within three (3) months prior to the due date, the Special Periodical Survey will be credited to agree with the effective due date. Special consideration may be given to Special Periodical Survey requirements in unusual cases. Consideration may be given for extensions of Rule-required Special Periodical Surveys under extreme circumstances.

At request of the Owner, and upon approval of the proposed arrangements, a system of Continuous Surveys may be undertaken, whereby the Special Periodical Survey requirements are carried

out in regular rotation to complete all of the requirements of the particular Special Periodical Survey within a five-year period. The proposed arrangements are to provide for survey of approximately 20% of the total number of survey items during each year of the five-year period. Reasonable alternate arrangements may be considered.

Each part (item) surveyed becomes due again for survey approximately five (5) years from the date of the survey and the due parts (items) are generally to be completed each year. For Continuous Surveys, a suitable notation will be entered in the Register and the date of the completion of the cycle published. BKI may withdraw its approval for Continuous Survey if the Surveyor's recommendations are not complied with. A properly conducted preventative-maintenance/condition-monitoring plan may be credited as satisfying the requirements of Special Continuous Survey. This plan must be in accordance with Guideline for Planned Maintenance Program.

TABLE 2. Additional Class Notations

ITEM	Characterization	Notation
Disconnectable System	For floating Terminals that have self propulsion system and disassembly mooring and riser systems to allow the floating terminal to ride out severe weather or seek refuge under its own power for a specified design environmental condition.	(Disconnectable) ¹
Dynamic Positioning System	Floating Terminals that installed a dynamic positioning systems for station keeping purposes (BKI Part 1 Volume I, 2012)	DP
On-site Operation	Floating terminals that designed and built for special requirements on-site operation where approved by BKI.	(S years) followed by approved site of operation ²
Dynamic Loading Approach	Where requested, the dynamic load components considered in the evaluation of the hull structure are to include the external hydrodynamic pressure loads internal dynamic loads (fluids stored onboard, ballast, major equipment items, etc.) and inertial loads of the hull structure.	DYLA
Fatigue Life	Notation for assigning fatigue life value for the hull, hull interface structure, position mooring system and components.	FL (Years) ³ SFA (Years) ⁴

Hull Construction Monitoring Program	Floating Terminals designed and reviewed to the FLNGT Guidelines are to comply with the requirements of the Offshore Hull Construction Monitoring Program.	OHCM
Re-gasification Facilities	For Floating terminals that equipped a Re-gasification facilities which classed by BKI.	(LNG)R
Machinery systems	For self-propelled floating terminals that have Machinery system which complies with the requirements of the BKI rules and guidelines during construction and installation.	E SM
Temporary Mooring Equipment	For self-propelled floating terminals that equipped temporary mooring equipment when requested by owner	TMOOR
Note: 1. always followed with E SM at the end 2. example, (S 100) NATUNA, where "100" means that the terminal is reviewed for 100 years design return period in Natuna field. 3. For simplified fatigue analysis 4. For spectral fatigue analysis		

Drydocking Surveys or equivalent IW are to be carried out twice in any five-year period, with an interval not exceeding three (3) years. Consideration may be given for extensions of drydocking or IW due dates under special circumstances. An underwater inspection by competent diver(s) may be required for such extensions. An approved IW may be considered equivalent to an out-of-water drydocking for terminals up to and including Special Periodical Survey No. 4 or twenty (20) years of age, whichever is reached earlier. For each drydocking or equivalent IW after Special Periodical Survey No. 4, requests to conduct an IW in accordance with previously approved plans are to be submitted for consideration well in advance of the proposed survey (BKI FPI Guideline, 2012). Approvals to conduct the IW after Special Periodical Survey No. 4 are to be made available onboard for the Surveyor's reference.

Where the terminal's self-propulsion system is classed with the notation Σ SM, it would be treated similarly to a trading liquefied gas carrier. For these terminals, the Drydocking Survey is to comply with the requirements stated in Part 1 Seagoing Ship, Volume I, Section 3, B.1.6. IW will not be considered equivalent to an out-of-water Drydocking Survey when carried out concurrent with the Special Periodical Survey - Hull (BKI, Part 1 Volume 1, 2012).

Where provided, Boiler Surveys of main propulsion boilers are to be carried out at intervals defined in BKI Rules Part 1 Seagoing Ship, Volume I Section 3, B.1.5.2. Waste-heat or fired auxiliary boilers intended for working pressures above

3.4 bar (3.5 kgf/cm², 50 Psi), are to be surveyed two times in any five-year period, with an interval not exceeding three (3) years between Boiler Surveys. Consideration may be given for extensions of Rule-required Boiler Surveys. The extension may be granted by the Surveyor, provided a survey is carried out in accordance with Part 1 Seagoing ships, Volume I Section 3, B.1.5.2.4

A Tailshaft or Tubeshaft Survey of self-propelled terminals are to be carried out at intervals defined in Part 1 Volume I Section 3, B.1.4. However, due to low running hours, this interval may be extended. For details, refer to B.3.3.

5. Structural Design Requirement

This Guideline addresses the structural design of floating offshore membrane or independent prismatic tank liquefied gas terminals with ship-shaped or barge-shaped hull forms having single center cargo tanks or two cargo tanks abreast that are arranged along the centerline of the terminal's hull. In view of the similarity of hull structure, this Guideline has some cross-references to the general requirements for hull construction in the particular requirements in BKI Part I Seagoing Ship Volume IX, for vessels intended to carry liquefied gases in bulk (BKI Part 1 Volume IX, 2005).

5.1. Cargo Containment System

According the IMO classification of Cargo Containment System, a Floating terminals may use membrane or independent tanks type for cargo containment system. Classifications of cargo containment system by IMO are described in Figure 4.

5.2. General Requirement

The design criteria for offshore floating liquefied gas terminals are applicable to floating terminals of 150 meters or more in length. In addition, the applicable criteria contained in the IGC Code and the Load Line and SOLAS Conventions issued by the International Maritime Organization are to be considered. It is further suggested that the local authorities having jurisdiction where the floating terminal is to operate be contacted to obtain any further criteria that are applicable to the floating terminal. The design criteria are applied in two phases. In the first phase is Initial Scantling Calculation (ISCAL). This Phase specifies the minimum strength requirements for the hull structure with respect to the determination of initial scantlings, including the hull girder, shell and bulkhead plating, longitudinals/stiffeners and main supporting members. A second phase requires structural analyses of major portions of the hull structure to verify the adequacy of the structural

system's performance, including strength checks for failure modes associated with yielding, buckling and ultimate strength. This phase is referred to as the Total Strength Assessment (TSA) and is governed by the criteria.

The Total Strength Assessment must also consider the interface between the position mooring system and the hull structure and the interface between deck-mounted (or above-deck) equipment modules and the hull structure. The interface structure is defined as the attachment zone of load transmission between the main hull structure and hull mounted equipment, including the position mooring system. The analysis of the hull interface structure is to be performed using direct calculation of local 3-D hull interface finite element models. Performance of additional structural analyses can lead to the granting of the optional DYLA classification notation, which signifies that the design meets the Dynamic Load Approach criteria. Also, the optional SFA classification notation can be granted, which signifies that the design satisfies fatigue strength criteria based on Spectral Fatigue Analysis. A total strength assessment of the structures, determined on the basis of the initial strength criteria in ISCAL is to be carried out in accordance with TSA against the following four failure modes:

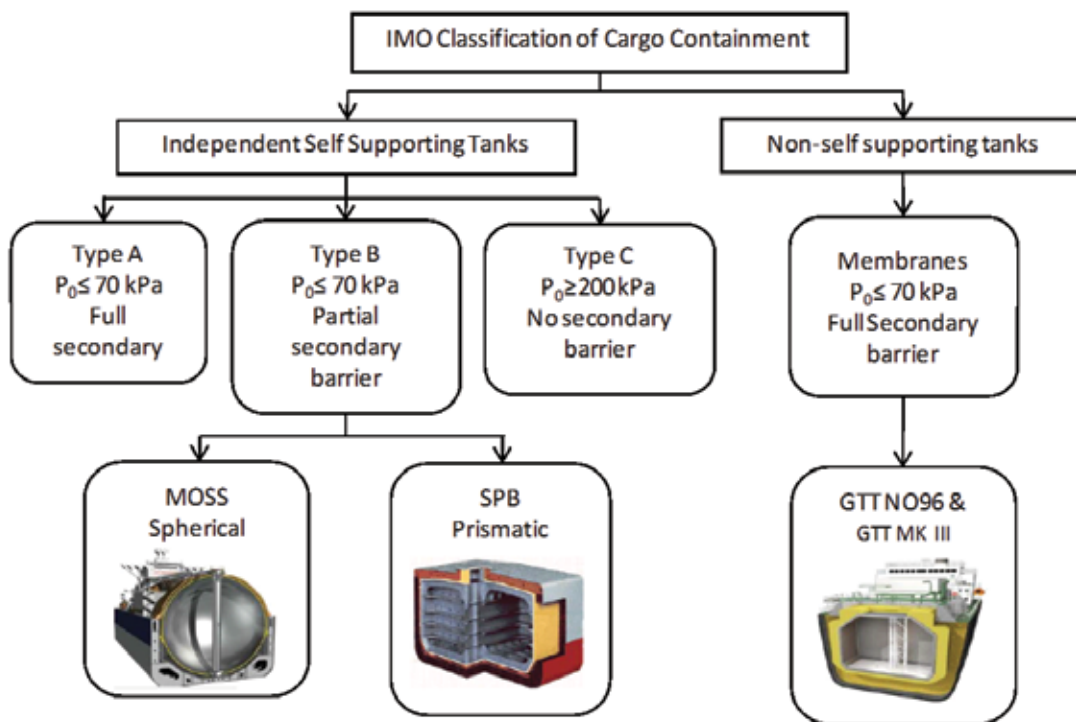


Fig.4 FLNG/FPSO LNG type of loading terminal

TABLE 3.Criteria of Safety

Failure Mode	Criteria	Referensi
Material Yielding	The calculated stress intensities are not to be greater than the yielding state limit (including cargo containment)	Section 5, E.2
Buckling & Ultimate Strength	For each individual member, plate or stiffened panel, the buckling and ultimate strength is to be in compliance with the requirements in this guideline.	Section 5, D.2.9 Section 5, E.3
Fatigue	The fatigue strength of structural details and welded joints in highly stressed regions is to be analyzed.	Section 5, E.4
Hull Girder Ultimate strength	The hull girder ultimate longitudinal bending capacities for either hogging or sagging conditions are to be evaluated.	Annex 4

6. Process Facilities

Where process facilities are included within scope of class which is not affixed by T notation, the facilities installed onboard are subject to requirement of this guideline. Process facilities covers the facilities used for processing raw gas from the well(s), bringing partially processed gas from another installation, liquefaction system, re-gasification system, the entire installation including the import and export system. Where processing facilities are not include within the scope of class, requirement contained relating to the safety of the terminal in the guideline will be considered wiyhin scope of class such as the following systems will be subject to approval by BKI:

- a) Interface to the Fire Extinguishing system
- b) Hazardous areas
- c) Gas disposal system (venting and relief)

For Classification purposes, whichever of the process systems are employed, the facilities are to be in place so that the entire operation can be carried out safely. Accordingly, in order to carry out an assessment of the system, the plans and calculations are required to be submitted (see Section 2, I.4 of the guideline for detail). BKI may require additional information depending on the systems used and their configuration. The evaluation by BKI will include a systematic consideration of arrangements, layouts, process systems, process support systems, process controls and safety systems as well as a review of all safety critical equipment.

TABLE 4. Scope of Class Process Facilities

Process Facilities	Scope of Classification
Gas Processing	All systems and components for the reception of raw gas from the well(s) or partially processed gas from another installation on the platform facilities for such processes as acid gas removal, dehydration and mercury removal.
Liquefaction	All systems and components for: – pre-cooling: compressor, condenser, coolers and accumulators (Propane, Nitrogen or mixed refrigerant Exchanger), – fractionation, includes subsystems or plants called de-ethanizers, de-propanizers and de-butanizers – main cryogenic refrigeration – storage, includes both liquefied gas storage and storage of condensate produced from the liquefaction process
Re-gasification	All systems and components for removing liquefied gas: – from the storage tanks, – pressurizing, – heating and vaporizing liquefied gas, – off-loading system. – compressors in the discharge system,
Import System	Import Systems on load terminals are considered to include – the entire gas swivel on turret-moored units and the first onboard flange for units maintained on station through a spread mooring system, plus all onboard gas flow lines up to the gas processing facility. In the case of discharge terminals such FSRU: – the liquid and vapor loading arms and the cryogenic hoses or the cargo manifold, depending on the liquefied gas ship to terminal transfer configuration employed, plus all on deck valves and piping up to the liquid and vapor inlet flanges on the cargo tank domes.

Export System	Export Systems on load terminals are considered to include – the cargo pumps, – stripping pumps, – high duty gas compressors, – liquefied gas vaporizers and all valves and piping in the liquid discharge and vapor return systems up to – the cargo manifold, – loading arms or cryogenic hoses, depending on the liquefied gas terminal to ship transfer configuration employed. In the case of discharge terminals such FSRU, – the gas flow lines from the regasification facility up to and including the entire gas swivel on turret moored units or the last onboard flange on units maintained on station through a spread mooring system.
Risers and Flow Lines	Rigid and flexible risers connecting flow lines and submerged jumpers are not considered to be within the scope of classification of the terminal. However, at the Owner's request, the import or export risers starting from, but not including the Pipe Line End Manifold (PLEM), may be included in the scope of classification, provided they are found to be in compliance with the requirements of Section 7, B of the FPI Guideline (BKI FPI Guideline, 2012).

References

- Biro Klasifikasi Indonesia. (2012). *Rules for The Classification an Construction of Seagoing Steel Ships Part.1, Volume I Rules Classification and Surveys 2012 edition.*
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2005). *Rules for The Classification an Construction of Seagoing Steel Ships Part.1, Volume IX Rules for Carrying Liquefied Gases in Bulk.*
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2012). *Guideline for The Classification an Construction of Floating Offshore Liquefied Gas Terminal (FLGT).*
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2012). *Guideline for The Classification an Construction of Floating Offshore Production Installation (FPI).*
- FLEXLNG. (2008) *Building the Leading LNG FPSO Company.* http://www.flexlng.com/publish_files/FLEX_LNG_Presentation_Pareto_10_September_2008.pdf.
- INPEX Corporation. (2011). *Partnering in The Abadi Project, The Masela Block, Arafuru Sea, Indonesia.* <http://www.inpex.co.jp/english/news/pdf/2011/e20110722-b.pdf>



The Royal Institution of
Naval Architects

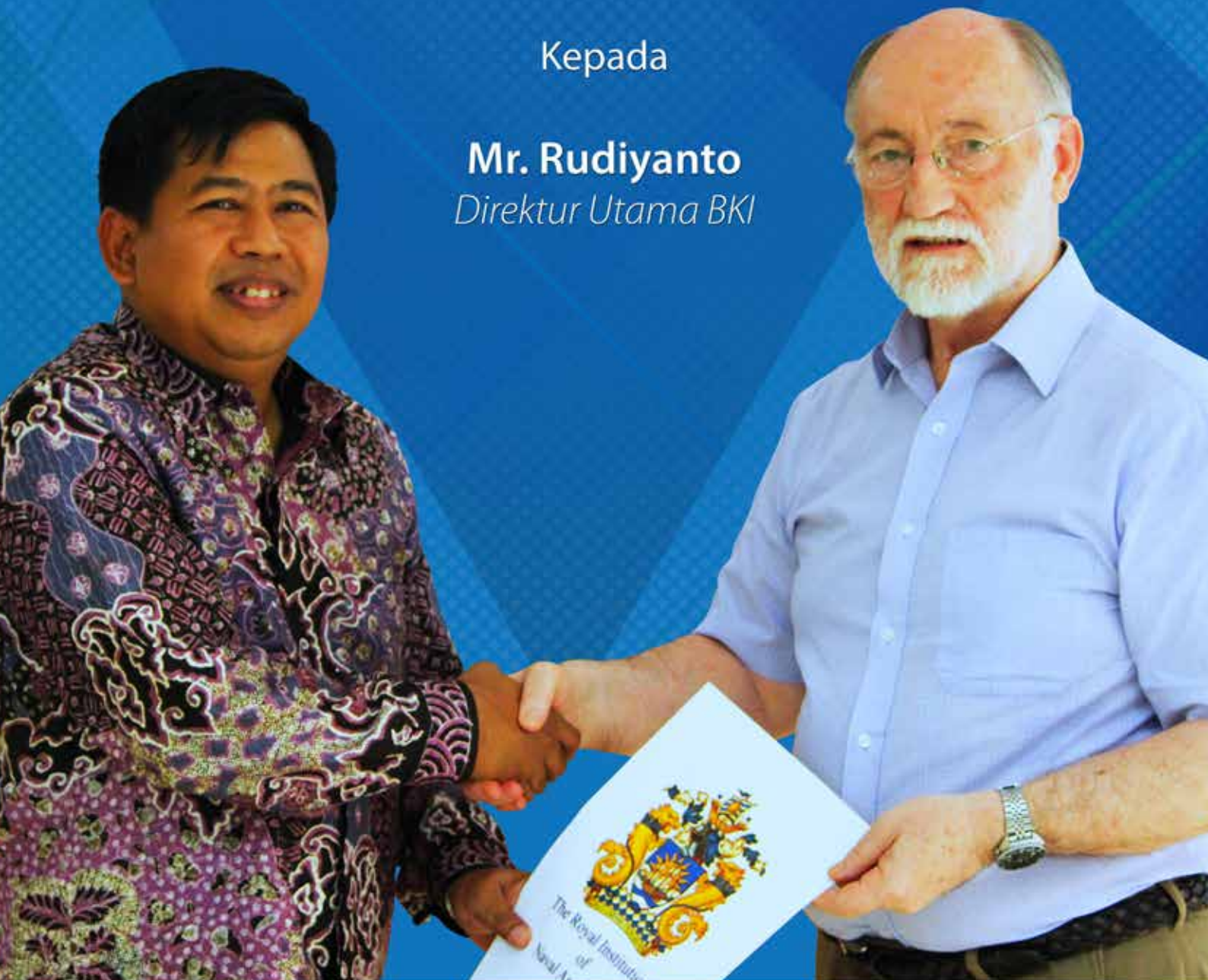
Redaksi Jurnal Teknik BKI PROPULSI

Mengucapkan Selamat Kepada BKI sebagai
RINA Corporate Partner yang disampaikan langsung oleh:

Mr. Trevor Blakeley, C.Eng, FRINA, FIMarEST, FIMechE,
Chief Executive, the Royal Institution of Naval Architects (RINA)

Kepada

Mr. Rudiyanto
Direktur Utama BKI



Di Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, 18 Maret 2014

PENERAPAN SISTEM SCR (SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION) PADA KAPAL GUNA MENGURANGI PENCEMARAN UDARA DILAUT



Munir M

- Penelitian dan Pengembangan, PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero)
- Email : munir.m@bki.co.id

Abstract

Air pollution in many sectors are visible, especially in the marine transportation sector. Based on data from U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2011, as many as 415.600 Tons of SO₂,

NO_x and 130.600 Ton has been polluting the air. Referring to the regulations of MARPOL 73/78, Annex VI, Regulation 13, Tier III which will take effective in 2016, that every ship that sailed the emission control area (ECA, Emission Control Areas) must reduce NO_x emissions by 80% and Regulation 14 states SO_x emissions that content should not exceed 3.5% (on and after 1 January 2012), 0.5% (effective from 1 January 2020). Various attempts have been made to reduce exhaust emissions generated by the waste products of combustion boat engines. One of these efforts is to use the SCR system (Selective Catalyst Reduction) to reduce the formation of oxidation Nitrogen reacts with oxygen to form NO_x combustion

Key words: SCR, NO_x, SO_x, Urea, Peraturan.

1. Pendahuluan

Mesin diesel kapal merupakan sebuah mesin yang terbukti handal dari segi fungsinya dan efisien dalam penggunaan bahan bakar. Namun salah satu kekurangan dari mesin diesel adalah terdapatnya emisi pada gas buang yang berupa NO_x, SO_x, CO dan Partikulat yang semuanya dapat membahayakan kesehatan dan merusak kualitas udara serta hujan asam (HNO₃ dan H₂SO₄) yang dapat mengakibatkan kanker juga gas CO yang dapat menyebabkan kematian apabila terhirup secara langsung dan juga menyebabkan bertambahnya suhu bumi akibat pertambahan CO₂ atau Global Warming. Menurut catatan Emergency Protection Agency (EPA) pada tahun 2011 sebanyak 415,600 Ton SO_x dan 130,600 Ton NO_x serta Particulate Matter (PM) telah mencemari udara. BKI sebagai badan klasifikasi untuk saat ini telah mengadopsi peraturan tentang penanggulangan pencemaran udara yang tertuang dalam Part 7-Class Notation Volume XX "Guideline for Environmental Service System". Dalam peraturan tersebut menjelaskan tata cara penanggulangan emisi gas buang. Namun peraturan tersebut hanya menjelaskan secara umum metode yang digunakan. Maka dalam tulisan ini penulis mencoba mengangkat salah satu metode penanggulangan pencemaran udara di laut, berupa pemanfaatan Urea dalam Sistem Selective Catalytic Reduction (SCR) guna mengurangi formasi oksidasi Nitrogen bereaksi dengan Oksigen.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Umum

Unsur NO_x, SO_x dan PM merupakan 3 unsur utama dari gas buang sebuah kapal.

a. Formasi NO_x

Pada dasarnya terbentuknya gas NO_x disebabkan oleh:

1. Thermal NO_x (Extended Zeldovich Mechanism)

Proses ini disebabkan oleh reaksi oksidasi gas Nitrogen pada suhu tinggi pada ruang bakar yaitu dengan nilai kalor besar dari 1800 kalor, dan Thermal NO_x ini didominasi oleh emisi NO (NO_x = NO + NO₂)

2. Prompt NO_x

Formasi NO_x ini akan terbentuk cepat pada zona pembakaran

3. Fuel NO_x

Fuel NO_x ini terbentuk karena kandungan N dalam bahan bakar Sehingga 90% dari emisi NO_x adalah disebabkan proses thermal NO_x, dan tercatat bahwa dengan penggunaan HFO (Heavy Fuel Oil), bahan bakar yang biasa digunakan di kapal, menyumbangkan emisi NO_x sebesar 20-30%.

b. Formasi SO_x

Sedangkan unsur SO_x terbentuk dari fungsi kandungan sulfur dalam bahan bakar yang terjadi selama proses pembakaran. Unsur utama SO_x adalah SO₂, jumlah SO_x yang terbentuk dalam mesin selama proses pembakaran terjadi tergantung pada konsentrasi sulfur yang terkandung dalam bahan bakar.

c. Particulate Matter [PM]

Particulate Matter (PM) atau Partikel debu yang dalam emisi gas buang terdiri dari bermacam-macam komponen. Bukan hanya berbentuk padatan tapi juga berbentuk cairan yang mengendap dalam partikel debu. Pada proses pembakaran debu terbentuk dari pemecahan unsur hidrokarbon dan proses oksidasi setelahnya. Dalam debu tersebut terkandung debu sendiri dan beberapa kandungan metal oksida. Dalam proses ekspansi selanjutnya di atmosfer, kandungan metal

Tabel 1. Komposisi Gas Buang

Symbol	Chemical Component	Symbol	Chemical Component
C ₃ H ₈	Propane	NO	Nitric Oxide
CO	Carbon monoxide	NO ₂	Nitrogen dioxide
CO ₂	Carbon dioxide	NO _x	Oxides of Nitrogen
HC	Hydrocarbon	O ₂	Oxygen
H ₂ O	Water		

dan debu tersebut membentuk partikulat. Beberapa unsur kandungan particulate matter adalah karbon, SOF (Soluble Organic Fraction), debu, SO₄, dan H₂O. Sebagian partikel keluar dari cerobong kapal sebagai asap hitam tebal, tetapi yang paling berbahaya adalah butiran-butiran halus sehingga dapat menembus bagian terdalam dari paru-paru.

2.2 Peraturan

Berdasarkan konvensi International yang dilaksanakan pada tanggal 26 September 1997 tentang polusi emisi gas buang kapal, dan telah diubah dengan Protokol tahun 1978 yang berkaitan dengan peraturan (MARPOL 73/78) tersebut diadopsi dan dijadikan sebuah Kode Teknis Pengendalian Emisi Nitrogen Oksida dari Mesin Diesel yang hingga saat ini disebut sebagai NO_x Technical Code.

1. MARPOL 73/78 Annex VI, Regulation 13

• Tier I (Umum)

- Mesin yang dibuat pada atau setelah 1 Januari 2000
- Mesin dengan tenaga lebih besar dari 500 kW, dan dengan kapasitas per silinder 90 liter yang dibuat pada atau setelah 1 Januari 2011
- 17,0 g / kWh untuk n (Daya mesin) kurang dari 130 kW
- $45,0 \times n$ (-0,2) g / kWh untuk n adalah 130 atau lebih tetapi kurang dari 2000 rpm
- 9,8 g / kWh untuk n 2000 rpm atau lebih

• Tier II (Umum)

- Mesin yang dipasang pada kapal yang dibangun pada atau setelah 1 Januari 2011
- 14,4 g / kWh jika n kurang dari 130 rpm
- $44,0 \times n$ (-0,23) g/kWh untuk n 130 rpm atau lebih tetapi kurang dari 2000 rpm
- 7,7 g / kWh untuk n 2000 rpm atau lebih

• Tier III (yang digunakan pada NO_x ECAs)

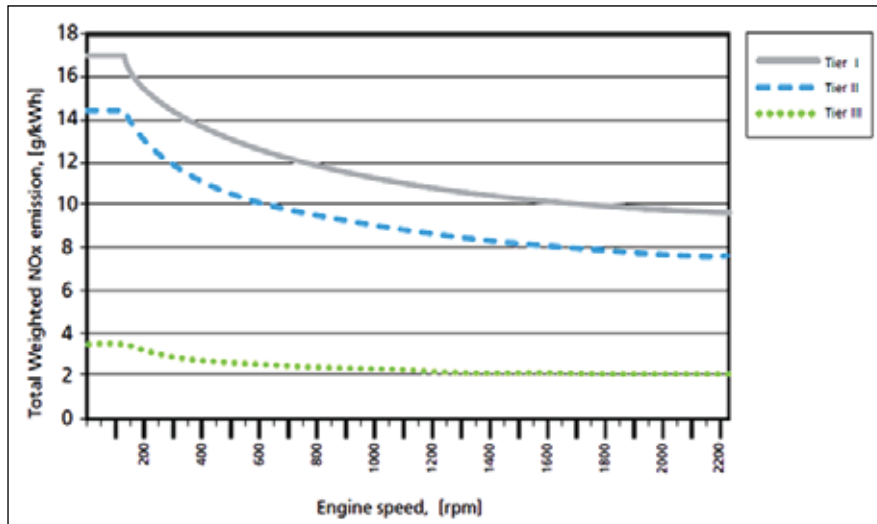
- Mesin yang dibuat pada atau setelah 1 Januari 2016 dan berlayar pada daerah pelayaran NO_x-Controlled ECA's
- 3,4 g / kWh jika n kurang dari 130 rpm
- $9,0 \times n$ (-0,2) g/kWh untuk n adalah 130 atau lebih tetapi kurang dari 2000 rpm
- 2,0 g / kWh untuk n 2000 rpm atau lebih

Aplikasi untuk peraturan Tier III, tidak berlaku pada kapal dengan:

- Panjang konstruksi < 24 m dan dibangun dengan tujuan pariwisata
- Daya mesin < 750 kW

d. PP.21/2021 tentang perlindungan lingkungan maritime

- Bab II, Bagian Pertama Pasal 3: setiap wak kapal wajib mencegah dan menanggulangi terjadinya pencemaran lingkungan yang bersumber dari kapalnya.
- Bab II, Bagian kedua, Pasal 7: Kapal dengan jenis tertentu wajib dilengkapi peralatan pencegahan dan bahan penanggulangan pencemaran di kapal



Gambar 1. Grafik emisi NOx yang diijinkan untuk mesin diesel

2. Peraturan Pemerintah Indonesia

a. UU No. 23 Ayat 1/ 2007

Barang siapa yang karena kealpaannya melakukan perbuatan yang mengakibatkan pencemaran dan/atau perusakan lingkungan hidup, diancam dengan pidana penjara paling lama tiga tahun dan denda paling banyak Rp100.000.000,00 (seratus juta rupiah).

b. UU No. 17, Pasal 229 ayat 3/ 2008

Setiap kapal dilarang melakukan pembuangan limbah, air balas, kotoran, sampah, serta bahan kimia berbahaya dan beracun ke perairan dan dilarang mengeluarkan gas buang melebihi ambang batas sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

c. UU No. 17/ 2010

Perlindungan Lingkungan Maritim adalah setiap usaha untuk Mencegah dan mengurangi pencemaran lingkungan perairan yang bersumber dari kegiatan yang terkait dengan pelayaran

3. Pembahasan

Telah banyak upaya yang dilakukan untuk mengurangi nilai emisi gas buang tersebut diatas antara lain:

1. SCR system (*Selective Catalytic Reduction*), sistem ini digunakan untuk mereduksi nilai NOx sampai 80 % atau lebih
2. *Alternative Fuel* dengan menggunakan Natural Gas, metode ini digunakan untuk mereduksi nilai NOx dan SOx
3. *Waste Heat Recovery System* (WHRS), pemanfaatan panas yang dihasilkan oleh gas buang sebagai pemanas kargo.
4. *SOx Scrubber System* yang mampu mengurangi Particulate Matter dan nilai SOx hingga 98%
5. *Exhaust Gas Recirculation* (EGR), merupakan sebuah sistem pengendalian emisi dengan mensirkulasi kembali gas buang yang dihasilkan dan dimasukkan kembali sebagai udara intake.

6. Aplikasi sistem ini mampu mengurangi emisi SOx hingga 19 %
7. *Cooling System for Energy Efficiency*, sistem ini mampu menghemat energi sebesar 90 %
8. *Turbochargers*, pemanfaatan penggunaan turbochargers dengan efisiensi tinggi untuk menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna.

Bentuk penanganan emisi gas buang tersebut diatas memberikan dampak yang lebih besar bagi lingkungan yaitu dapat menciptakan udara yang bebas dari polusi gas beracun, bebas dari hujan asam serta mencegah penipisan lapisan ozon. Berdasarkan data dari Danish. EPA Project, No. 1421, 2012, nilai NOx yang dapat direduksi oleh beberapa Teknologi penanggulangan pencemaran udara dapat dilihat pada tabel 2. dibawah berikut ini.

Tabel 2 Tabel nilai reduksi emisi exhaust gas

Metode\ Emisi	NOx	PM	SO ₂	CO	CO ₂	VOC
WIF Water in fuel	50%	2%	2%	2%	2%	2%
HAM (4 stroke)	65%	0%	0%	0%	0%	0%
SCR	90%	0%	0%	0%	0%	0%
EGR, Based on Tier I	80%	1%	1%	1%	1%	1%
EGR, Based on Tier II	80%	2%	2%	2%	2%	2%
LNG (learn burn)	88%	90%	67%	80%	10-27%	80%

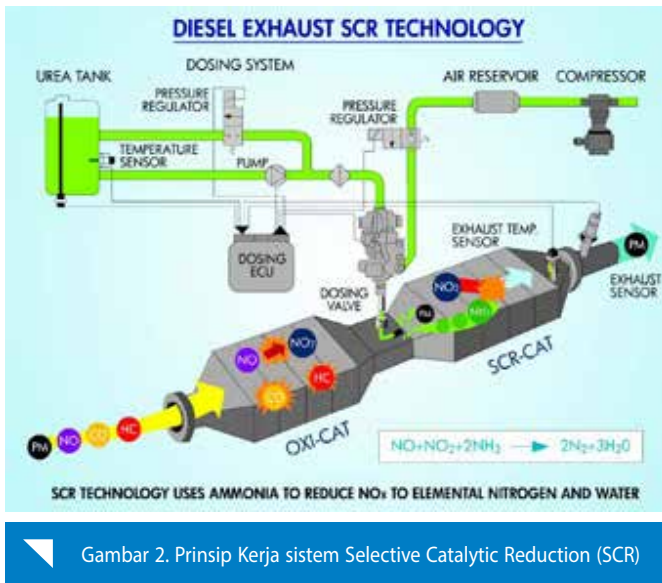
Tabel diatas menunjukkan bahwa teknologi yang paling tinggi megurangi nilai NOx dalam penanggulangan polusi udara adalah sistem SCR. Dan sistem ini merupakan sebuah metode yang efektif yang sedang dikembangkan oleh para ahli mesin diseluruh dunia dan juga merupakan bahan penelitian oleh badan-badan klasifikasi dunia karena pencemaran udara merupakan suatu hal yang sangat penting. Sistem tersebut adalah salah satu teknologi yang paling hemat biaya dan hemat bahan bakar dan sangat berpotensi untuk membantu mengurangi emisi mesin diesel.

Sistem ini dapat diimplementasikan dalam berbagai cara pada mesin diesel. Salah satu konfigurasi yang paling umum meliputi empat langkah adalah sebagai berikut:

1. Reaksi dari gas buang dengan katalis oksidasi untuk mengurangi kandungan hidrokarbon dan mengkonversi NO menjadi NO₂.
2. Injeksi larutan urea ke dalam aliran gas buang pada tingkat dosis yang benar dapat menghindari terjadinya penumpukan urea pada dinding knalpot atau pada injektor itu sendiri.
3. Reaksi amonia dengan NOx pada katalis SCR untuk menghasilkan nitrogen dan air.
4. Sebuah katalis oksidasi akhir ini sering dipasang setelah katalis SCR untuk menghancurkan amonia yang tersisa. Hal ini disebut katalis slip amonia.

3.1 Prinsip Kerja SCR

Reaksi kimia dari zat amonia yang mengubah nitrogen oksida menjadi nitrogen (reaksi oksidasi nitrogen), air dan karbon dioksida (CO₂), sehingga hasil akhir dari Sistem tersebut adalah gas buang yang lebih bersih yaitu Nitrogen dan air, Hal ini disebut "selektif" karena mengurangi kadar NOx menggunakan urea yang teroksidasi menjadi amonia sebagai reduktor dalam sistem katalis. Prinsip kerja dari SCR dapat dilihat pada gambar 2. dibawah berikut ini.



Sehingga secara umum prinsip kerja dari SCR adalah meminimalkan jumlah oksida nitrogen yang terkandung dalam gas buang sebagai sisa hasil pembakaran dengan penginjeksian Urea-Solution ke dalam aliran gas buang hulu converter SCR catalytic, sehingga memproduksi nitrogen dan air selama proses reduksi selektif katalitik.

3.2 Manfaat Sistem SCR

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penggunaan sistem SCR adalah sebagai berikut:

1. Dapat mereduksi/ mengurangi emisi NO_x sebesar 90% dibanding dengan sistem-sistem yang lain
2. Instalasi SCR yang terpasang tidak mengubah performa mesin yang sebelumnya
3. Sistem SCR menggunakan urea yang tidak berbahaya
4. SCR merupakan sebuah sistem dengan instalasi yang cukup sederhana
5. Sistem SCR apabila digunakan pada kapal yang sudah jadi, instalasi SCR yang terpasang tidak akan mengganggu pengoperasian mesin

6. Mudah dalam pemeliharaan (maintenance)
7. Sistem ini bisa digunakan untuk mesin diesel 4 (empat) langkah maupun 2 (dua) langkah
8. Berpotensi untuk menghemat biaya 6-9%

3.3 Standar Urea

Salah satu hal yang sangat penting dalam pengoperasian sistem SCR adalah jenis urea yang digunakan, adapun standar urea yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3 standar urea oleh CEFIC

Chemical description of urea			
Chemical formula	(NH2)2CO		
Molar mass	60,06 g/mol		
Physical properties			
Density	1,105 – 1.116 kg/m3		
Parameter	Min.	Max.	Unit
Urea content	39.0	41.0	% by weight
Alkalinity		0.5	% by weight
Biuret		0.8	% by weight
Aldehydes		100	Mg/kg
Insoluble matter		50	Mg/kg
Total Phosphorus		1.0	Mg/kg
Calcium		1.0	Mg/kg
Sodium		1.0	Mg/kg
Potassium		1.0	Mg/kg
Iron		1.0	Mg/kg
Magnesia		1.0	Mg/kg

Sumber: from a CEFIC working paper for Maritime Grade Urea Solution as of October 2010

3.4 Karakteristik permodelan sistem SCR

Adapun karakteristik dari permodelan dari sistem Selective Catalytic Reduction dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

pencemaran dilingkungan laut. Untuk proses sertifikasi dari aplikasi SCR ini mengacu pada peraturan tersebut diatas. Dan kapal yang telah mengaplikasikan sebuah sistem dalam rangka penanggulangan pencemaran udara dilaut, maka kapal

Tabel 4 Overview of characteristic of SCR system

Item	Design of System layout	Control of urea dosage
Application	- Specify configuration and components to realize homogenous urea distribution	- Development of urea dosage strategy - Optimize required catalyst length, cell density and loading
Model characteristics	- 2D/3D CFD model - Describes hydrolysis and mixing - Describes urea distribution	- 1 D phenomenological model - Ideal mixing - Real-time
Model input data	- Exhaust flow conditions - Detailed geometry data - Catalyst chemistry parameters - Urea droplet size distribution	- Engine operating conditions - Catalyst geometry data - Catalyst chemistry parameters
Simulation time	hours	msec

3.5 Peranan Klasifikasi

3.5.1 BKI sebagai pelaksana Survey

BKI sebagai badan klasifikasi yang telah mengadopsi peraturan MARPOL Annex VI yang dituangkan dalam peraturan BKI yaitu " Part 7-Class Notation, Volume XX Guideline for Environmental Service System", melalui dasar tersebut BKI dapat melaksanakan survey MARPOL Annex VI melalui persetujuan Pemerintah Republik Indonesia. dalam hal pelaksanaan survey dan sertifikasi terhadap kapal-kapal yang berbendera Indonesia yang mengaplikasikan sebuah sistem guna mengurangi pencemaran udara di laut (Otorisasi Annex VI MARPOL 73/78 regulation for the prevention of Air Pollution From Ships). Dengan dasar ini BKI dapat melakukan survey terhadap kapal yang mengaplikasikan Selective Catalytic Reduction (SCR) sebagai metode penanggulangan

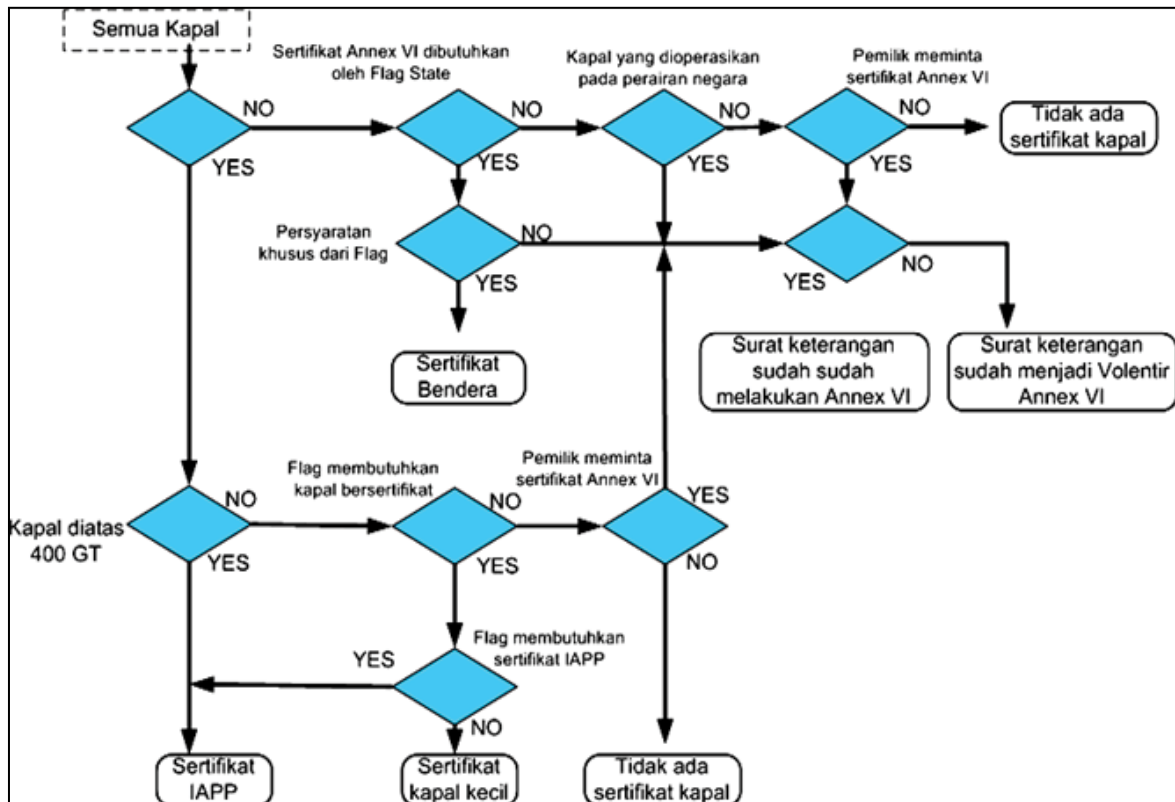
tersebut akan mendapatkan sertifikat EIAPP yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Laut melalui BKI.

3.5.2 Proses Sertifikasi

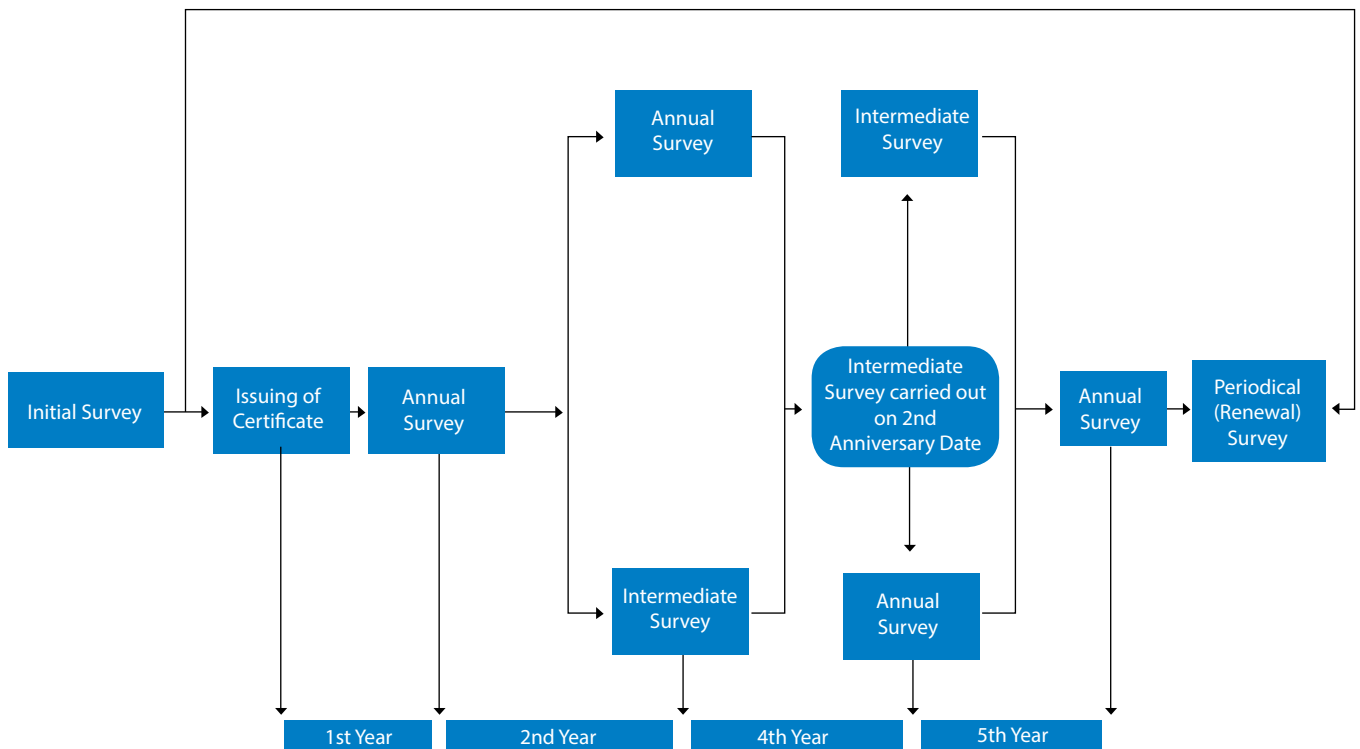
Adapun jalur sertifikasi yang dilakukan oleh BKI dapat dilihat pada bagan di gambar 3.

3.5.3 Pelaksanaan Survey

Berdasarkan peraturan MARPOL Annex VI, untuk pelaksanaan survey diselaraskan dengan survey berkala dari kapal tersebut seperti pada bagan di gambar 4.



Gambar 3. Jalur sertifikasi oleh BKI



Gambar 4. Proses Pelaksanaan Survey

a. Survey Awal (Initial Survey)

Survey awal dilaksanakan setelah semua sistem terpasang dengan baik diatas kapal, survey ini bertujuan untuk memastikan apakah sistem yang terpasang adalah merupakan modifikasi atau bukan dan harus melakukan uji emisi awal sesuai standar emisi gas buang yaitu NOx technical Code, chapter 3. Nitrogen Oxide Standards.

b. Survey Tahunan (Annual Survey)

Dilaksanakan dalam waktu 3 bulan sebelum atau setelah tanggal ulang tahun sertifikat IAPP, apabila survei tahunan dan survei antara jatuh pada waktu yang sama, maka persyaratan pelaksanaan survei tahunan tidak diwajibkan.

c. Survey Antara (Intermediate Survey)

Survei antara dilaksanakan antara survey tahunan kedua dan ketiga (2 ½ tahun)

d. Survey Pembaruan (Renewal Survey)

Survei Pembaruan dilaksanakan pada interval yang telah ditentukan oleh pihak administrasi namun tidak lebih dari 5 tahun

4. Kesimpulan

Penggunaan sistem SCR (Selective Catlytic Reduction) dapat digunakan sebagai salah satu bentuk aplikasi penanggulangan pencemaran dilaut dengan banyak keuntungan yang diperoleh dan pelaksanaan survey serta sertifikasi instalasi sistem tersebut dapat dilakukan oleh BKI sebagai badan klasifikasi. Dengan diberlakukannya peraturan tersebut (sesuai standard yang telah ditetapkan) untuk kapal-kapal yang berlayar diperairan Indonesia dapat menciptakan kondisi udara maritime yang bebas dari polusi.

Daftar Pustaka

- *Biro Klasifikasi Indonesia. (2011). Part 7-Class Notation, Volume XX Guidelines for Environmental Service System*
- *Kementerian Perhubungan (2008). UU No.17 Pedoman Penanganan Bahan/Barang Berbahaya Dalam Kegiatan Pelayaran Di Indonesia. Jakarta*
- *Hirata, K. (2009). Solution 80% NOx Reduction, Proc. Lecture Meeting of National Maritime Research Institute. Japanese*
- *DANSK Technology. (2009). SCR System with Digital Airless Multipoint, Urea Injection for NOx-Reduction in Marine Application. Copenhagen*

PENILAIAN RESIKO (*RISK ASSESSMENT*) PADA STRUKTUR ETB JACKET PLATFORM TERHADAP BAHAYA KELALAHAN (*FATIGUE HAZARD*) UNTUK PERPANJANGAN UMUR OPERASI



Muhammad Irfan

- Department of Research and Development, PT. Biro Klasifikasi Indonesia
- Mahasiswa Pascasarjana Fakultas Teknologi Kelautan - ITS
- E-mail: irfan11@mhs.na.its.ac.id / fan.muslim809@gmail.com

Abstract

Service life extension of offshore structure (jacket platform) has a very large potential risks. This encourages stakeholders, including academics doing a risk assessment to ensure the structure has risks that still within safe limits or acceptable. One risk that needs to be assessed is the danger caused by the fatigue hazards. In this study, will be discussed about substantial risk of Jacket Platform caused by fatigue hazards for extended life operation. Full Spectral Methods used to analyze fatigue

connection structure. Based on the analysis of fatigue, then obtained lowest fatigue life of the connection structure (joint) of 301 and 403 in connection with the member '203-301' and '301-403' long each with 214.35 and 432.0 years. By doing reliability analysis using Monte Carlo simulation on the connection member that has the lowest fatigue life, obtained probability of failure per year/ Annual Probability of Failure (PoF) for each connection 301 and 403 is 9.24×10^{-4} and 3.14×10^{-3} year⁻¹ with respective reliability indices were 3.12 and 2.74. The risk level of safety containment, environment, production and cost consequences at the joint are group as Medium Risk Level. Medium Risk Level still within safety limit or in other word is acceptable. However, it is better if the level of risk is lowered by doing mitigation that are suggested in this paper.

Key words: Spectral Fatigue, Risk, Monte Carlo, Jacket Platform, Reliability Structure.

1. Pendahuluan

Pada umumnya anjungan lepas pantai (Jacket Platform) didesain dengan lama umur operasi sekitar 20 s/d 25 tahun (Indiyono, 2006). Setelah mencapai umur desain, anjungan lepas pantai tidak secara otomatis berhenti beroperasi. Apalagi jika reservoir yang ada diladang kerja (field area) masih menyimpan cadangan hidrokarbon yang cukup tinggi dan ekonomis, sehingga owner dan operator ladang minyak pasti akan berfikir untuk memperpanjang operasi anjungan tersebut walaupun sudah melampaui umur operasi.

Pada studi ini, objek yang dievaluasi adalah jacket platform yang dioperasikan diperairan laut Jawa. Platform yang berjenis tripod (tiga kaki) ini berfungsi sebagai well platform. Jacket platform di desain untuk umur operasi selama 15 tahun. Jacket Platform dipasang pada tahun 1993. Platform didukung oleh struktur jacket tiga kaki (tripod) yang berdiri tegak pada kedalaman air sekitar 131,71 ft. Jacket platform menopang

1 struktur topside yaitu 1 (satu) tingkat dek (Main Deck) pada EL. +29' -6" di atas MSL.

Untuk memenuhi permintaan eksplorasi dan eksploitasi maka umur jacket platform akan diperpanjang 20 tahun mendatang. Untuk memastikan dan menjamin keamanan operasi secara keseluruhan dalam rangka perpanjangan umur operasi, maka dibutuhkan studi penilaian ulang yang seksama dan teliti. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi kemungkinan-kemungkinan kerusakan yang terjadi pada struktur. Studi penilaian ulang pada sebuah platform meliputi tiga hal, yaitu puhsover analysis, fatigue analysis dan Risk-based Inspection planning (RBI) (Chakrabarti, et al, 2005).

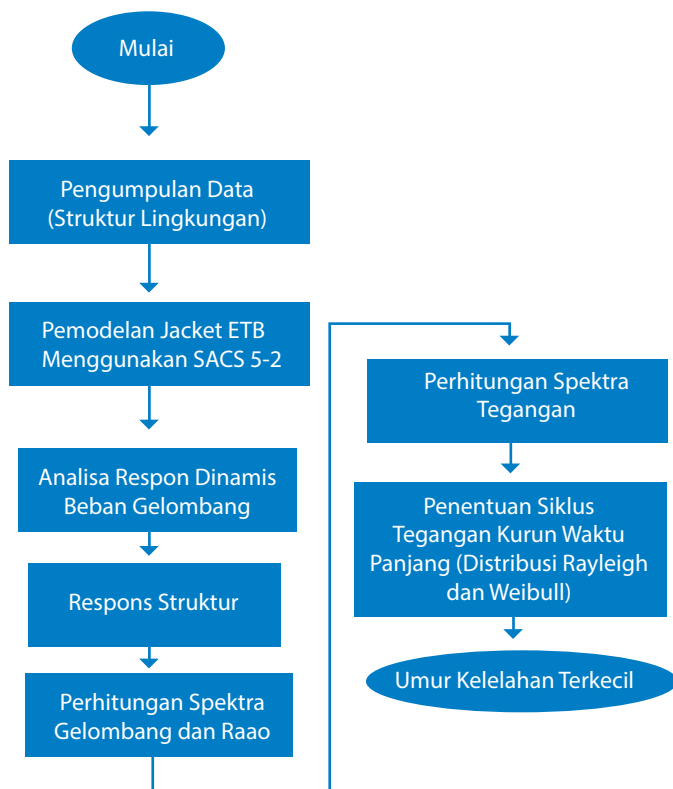
Kerusakan bangunan laut, terjadi terutama akibat kelelahan (fatigue), baik pada komponen struktur utama ataupun struktur sekunder dan tersier. Dalam hal ini beban gelombang merupakan sebab utama terjadinya kelelahan pada struktur. Kelelahan pada jacket platform pada umumnya terjadi pada joint tubular

member, hal ini disebabkan karena adanya konsentrasi tegangan disekitar sambungan tersebut.

Umur kelelahan sangatlah berkaitan erat dengan adanya ketidakpastian yang cukup berarti. Sebagian dari ketidakpastian ini adalah ketidakpastian pembebanan, ketidakpastian parameter material yang digunakan pada kurva S-N, dan ketidakpastian model yang berkaitan dengan persamaan umur kelelahan. Adanya ketidakpastian menimbulkan persoalan keandalan atau ketidakandalan karena terjadinya kegagalan mengakibatkan berbagai konsekuensi teknis dan ekonomis, maka selanjutnya menimbulkan resiko. Sehingga melalui studi penilaian resiko ini akan diketahui seberapa besar resiko yang dimiliki oleh Struktur ETB jacket Platform untuk perpanjangan umur operasi selama 20 tahun terhadap bahaya kelelahan (Fatigue Hazard).

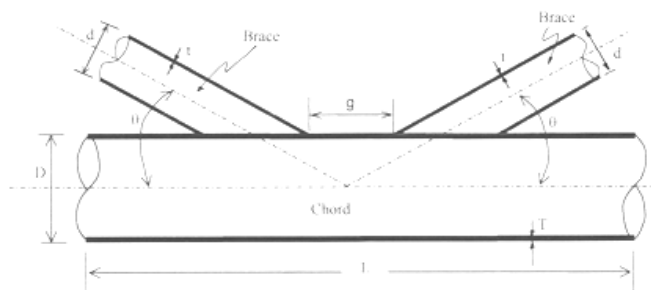
2. Metodologi

Pada studi ini, analisa kelelahan diambil dari penelitian Irfan (2011). Secara garis besar analisa kelelahan dilakukan dengan menggunakan metoda Spectral Fatigue Analysis. Inti dari pendekatan spektral ini adalah memodelkan proses gelombang acak kurun panjang (long term random seastate) kedalam beberapa gelombang kurun waktu pendek, setiap model dinyatakan kedalam fungsi kepadatan spektral (spectral density function)

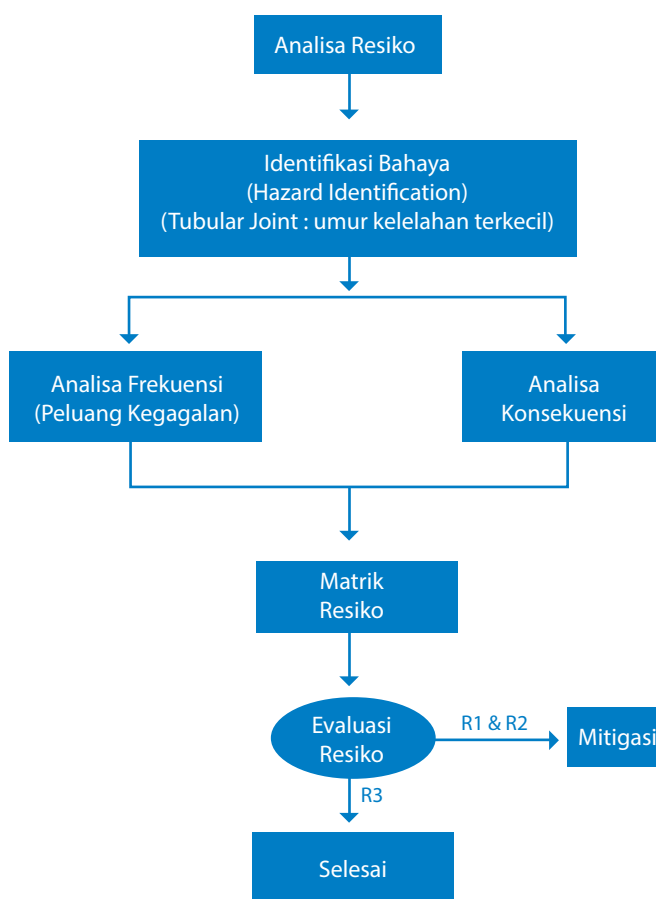


Gambar 2. Flowchart Analisa Kelelahan (Irfan, 2011)

Analisa kelelahan dilakukan untuk mendapatkan umur kelelahan pada sambungan (Joint Member) yang kritis yang dikenal hot spot. Salah satu contoh gambar sambungan tubular joint dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Sambungan Tubular Joint



Gambar 3. Flowchart Analisa Resiko

Hot spot adalah lokasi pada suatu sambungan tubular dimana terjadi tegangan tarik/tekan maksimum. Berdasarkan pendapat Straub dan Faber (2002) hot spot dapat didefinisikan sebagai lokasi yang diidentifikasi sebagai tempat kemungkinan terjadinya kegagalan.

2.1 Analisa Kelelahan

Analisa kelelahan diselesaikan dengan bantuan finite element method menggunakan bantuan software. Standard, desain kriteria dan asumsi-asumsi (pemodelan geometri, beban, boundary condition) dalam analisa kelelahan ini dapat dilihat pada penelitian Irfan (2011). Analisa dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan maksimum (S_e) dan jumlah siklus yang terjadi (N_L) pada sambungan. Langkah-langkah pengerjaan analisa kelelahan dengan bantuan Software secara umum dijelaskan pada Gambar 3 (flowchart analisa kelelahan). Ringkasan hasil analisa kelelahan berupa umur kelelahan terkecil dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini :

Tabel 1 Tiga Sambungan Member Dengan Umur Kelelahan Terkecil

Sambungan	Member	Member Type	Umur Kelelahan (tahun)
403	301 – 403	Brace	214.3499
	350 – 403	Chord	224.2113
301	203 – 301	Brace	432.0429
	201 – 301	Chord	470.755
203	101 – 203	Brace	703.4016
	103 – 203	Chord	661.6742

Pada Gambar 4 menunjukkan member-member yang ditinjau. Dari hasil analisa kelelahan ini, kemudian dijadikan dasar analisa resiko dalam menentukan peluang kegagalan akibat bahaya kelelahan pada struktur *jacket platform*.

2.2 Analisa Resiko

Analisa resiko dimulai dengan mengidentifikasi bahaya atau yang dikenal dengan istilah Hazard Identification (lihat Gambar 3). Pada anjungan lepas pantai terdapat banyak sekali potensi bahaya yang menyebabkan kerusakan, bahkan keruntuhan struktur. Bahaya-bahaya tersebut akan dijelaskan pada poin 4 dalam makalah ini. Namun dalam studi ini, resiko yang dinilai atas struktur ETB platform hanya berasal dari bahaya kelelahan (Fatigue Hazard) yang mana sudah dijelaskan diatas

bahwa kelelahan merupakan salah satu penilaian ulang yang ditetapkan Chakrabarti untuk dilakukan, untuk memastikan keamanan dan kekuatan struktur dalam rangka perpanjangan umur operasi.

Setelah melakukan hazard identification (dalam hal ini kelelahan struktur), selanjutnya menentukan peluang kegagalan (pof) dan konsekuensi kegagalan (cof). Probability of failure (pof) dan consequence of failure (cof) yang sudah didapat dan diidentifikasi kemudian dimasukkan dalam matrix resiko. Dari matrik resiko diketahui seberapa besar resiko yang didapat, apakah masuk pada kategori High Risk (R1), Medium Risk (R2), atau Low Risk (R3). Jika hasil yang didapat merupakan kategori resiko yang High dan medium maka perlu dilakukan mitigasi. Seandainya hasilnya didapat low risk maka struktur tersebut dikatakan aman untuk terus melanjutkan operasi selama 20 tahun mendatang.

3. Standard dan Codes

Pada studi ini, penilaian resiko berdasarkan standar API RP 2A WSD (2007). Kategori untuk keselamatan nyawa menurut standar API RP 2A WSD (2007) (Section 1.7) adalah :

- L-1 : adanya personel tanpa evakuasi (manned non evacuated)
- L-2 : adanya personel dengan evakuasi (manned evacuated)
- L-3 : tidak ada personel (unmanned)

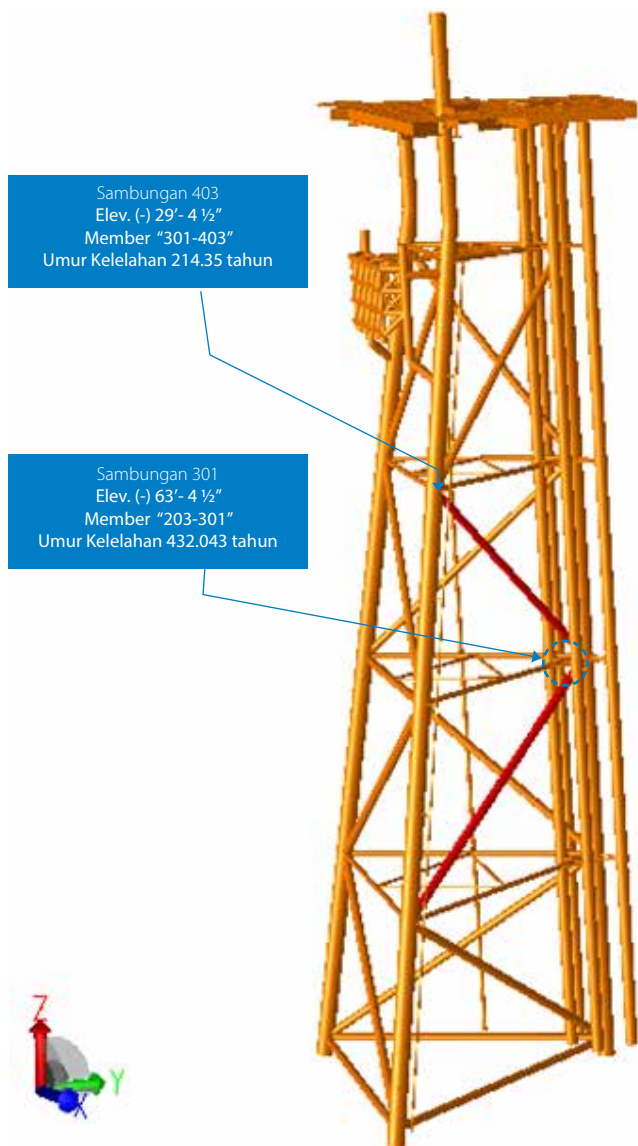
Untuk memperjelas kriteria pada setiap kategori konsekuensi kegagalan diatas (API RP 2A), maka penulis menggabungkan kriteria konsekuensi yang terdapat pada standar Norsok-Z008 yang memiliki pembagian kategori konsekuensi yang sama dengan API. Kriteria konsekuensi dapat dilihat pada table 7.

Penentuan tingkat resiko menggunakan metode semi-kuantitatif berdasarkan atas dua parameter yaitu : kategori peluang kegagalan dan kategori konsekuensi kerusakan. Contoh matriks resiko metode semi-kuantitatif yang ditetapkan dalam standar API RP 2A WSD (Section 18.5) adalah sebagai berikut (lihat Gambar 5)

Zona yang berwarna merah, merupakan daerah yang memiliki level resiko yang tinggi sehingga pada level ini resiko tidak dapat diterima oleh struktur. Jika analisa resiko yang dilakukan masuk pada level R3, maka harus dilakukan mitigasi agar resiko dapat diterima oleh struktur. Sedangkan zona berwarna kuning merupakan daerah ALARP (As Low as Reasonable Practicable) dimana pada level ini resiko dianggap menengah (medium). Pada level ini resiko boleh diterima dan boleh juga dilakukan tindakan mitigasi untuk menurunkan resiko. Sedangkan zona berwarna hijau merupakan daerah dengan resiko terendah dan dapat diterima oleh struktur tanpa perlu dilakukan mitigasi.

Peluang Kegagalan (Frekuensi)	H	Risk Level 2	Risk Level 3	Risk Level 3
	M	Risk Level 1	Risk Level 2	Risk Level 3
	L	Risk Level 1	Risk Level 1	Risk Level 2
		L3	L2	L1
		Konsekuensi		

Gambar 5. Contoh Matriks Resiko



Gambar 4. Model Geometri ETB Platform dan Posisi Member 203-301 dan 301-403 yang Memiliki Umur Kelelahan Terkecil Pada Struktur ETB Jacket Platform

4. Identifikasi Bahaya (HAZID)

Identifikasi potensi bahaya bertujuan meningkatkan standar keamanan dalam suatu wilayah kerja. Identifikasi terhadap faktor bahaya yang potensial terjadi pada anjungan lepas pantai perlu dilakukan sehingga kita mendapatkan data dan pertimbangan yang diperlukan untuk penanganannya. Bahaya dapat terjadi karena pengaruh dari luar atau karena kelalaian manusia. Berikut adalah analisa potensi bahaya (HAZID) yang berasal dari luar seperti pada saat instalasi bangunan lepas pantai ataupun proses operasional lainnya :

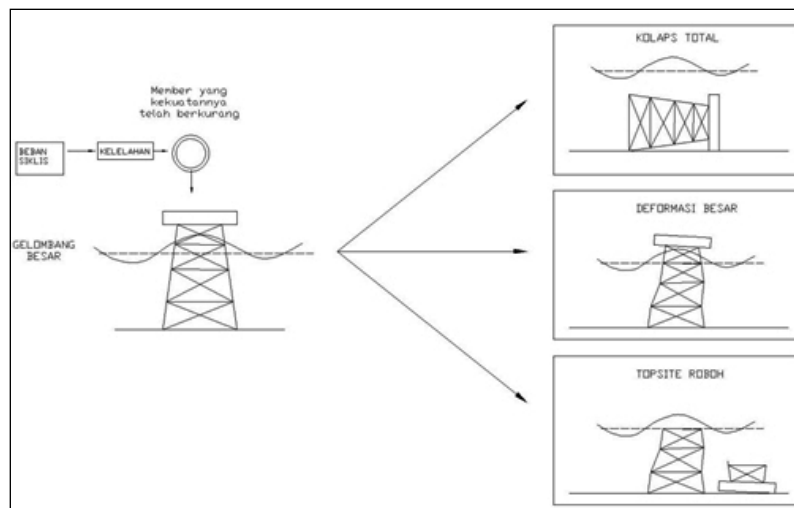
Tabel 2 Hazards Identification (HAZID)

No	Potensi Bahaya	Sebab	Akibat
1	Ledakan Sumur (blowout)	Pressure, Kebocoran Pipa	Ledakan dahsyat, Membakar seluruh platform
2	Kebakaran (Fire)	Blow out, pipa bocor, human error, dll	
3	Benda Jatuh (Falling Objects)	Proses instalasi equipment	Struktur rusak, bengkok, patah, tekuk, dll
4	Tubrukan kapal dan helicopter (Ship and helicopter collision)	Kecelakaan (Uncontrol), Cuaca buruk, Human Factor	Struktur rusak, bengkok, patah, tekuk, terjadi ledakan, dll
5	Gempa	Gempa bumi	Collaps, Resonansi Struktur
6	Cuaca yang Buruk (Extream Weather)	Badai	Shut Down, Collaps
7	Korosi dan Kelelahan	Beban gelombang, angin, impact supply vessel, dll	Kegagalan Struktur

Pada studi kasus ini, hazard yang ditinjau hanya pada bahaya kelelahan atau fatigue hazard. Kelelahan struktur dominan disebabkan oleh beban gelombang siklis yang mengenai struktur selama beroperasi di lapangan. Bahaya kelelahan pada struktur dapat mengakibatkan kegagalan struktur. Kegagalan struktur jacket didahului oleh beberapa kegagalan elemen atau sebuah kejadian yang luar biasa. Seringkali ketika terjadi sebuah kegagalan elemen, masih belum cukup untuk dapat menyebabkan kegagalan struktural. Dapat diambil pendapat bahwa keruntuhan terjadi akibat beberapa kegagalan elemen atau akibat terjadinya sebuah kejadian luar biasa, seperti badai dengan gelombang yang besar.

5. Menentukan Peluang Kegagalan dan Konsekuensi

Analisa frekuensi dilakukan untuk mendapat probability of failure (pof). Pada kasus ini, peluang kegagalan struktur ingin diketahui berdasarkan bahaya kelelahan. Informasi umur kelelahan terkecil struktur telah dipaparkan diatas. Dipilihlah 2 sambungan member (joint tubular) yang paling kritis yaitu 403 dengan member "301-403" dan 301 dengan member "203-301". Member yang dipilih adalah brace karena brace mempunyai potensi rusak lebih besar di bandingkan chordnya (lihat Gambar 5).



Gambar 6. Kegagalan Struktur Akibat Beban Siklis

Tabel 3. Umur kelelahan, Nilai Se dan NL pada sambungan member '203-301' dan '301-403'

Sambungan	Member	Posisi	Umur (tahun)	Se (ksi)	NL
301	203-301	Top	432.043	35.9	10346877
403	301-403	Top Right	214.35	38.31	12165397

Hal pertama yang dilakukan dalam analisa keandalan adalah menentukan moda kegagalan. Moda kegagalan merupakan parameter dalam penentuan kesuksesan ataupun kegagalan dalam suatu obyek yang ditinjau. Adapun moda kegagalan yang digunakan dalam studi ini adalah persamaan kelelahan terangkai yang diperkenalkan oleh Palmgren-Miner :

$$g(x) = \Delta - \frac{N_L}{A} \frac{S_E^m}{(\ln N_L)^{\frac{m}{\xi}}} \Gamma\left(\frac{m}{\xi} + 1\right) \quad (1)$$

Dalam studi ini, obyek yang menjadi tinjauan adalah sambungan member struktur jacket platform. Sambungan member dikatakan gagal apabila $g(x) < 0$ dan $g(x) > 1$. Dikatakan sukses apabila $0 < g(x) < 1$.

Dalam moda kegagalan di atas, digunakan persamaan kelelahan terangkai (closed-form fatigue equation). Dari persamaan di atas, terdapat beberapa variabel yang memiliki ketidakpastian. Variabel yang memiliki ketidakpastian ini akan dijadikan sebagai variabel acak. Ringkasan variabel acak dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah.

Tabel 4. Nilai Ketidakpastian Variabel Acak

Sub Variabel	COV	μ	σ	Distribusi
A	0.31	29.15	0.3	Lognormal
ξ	0.05	-0.02	0.05	Lognormal
Δ	0.6	-1.31	0.05	Lognormal
M	0.03	3.74	0.11	Normal

Pada tabel 4, distribusi dan nilai ketidakpastian merupakan hasil studi yang dilakukan oleh Wijanarto 2007. Menghitung peluang kegagalan joint kirtis dilakukan dengan menggunakan simulasi Monte Carlo. Nilai inputan yang diambil dari analisa kelelahan untuk melakukan simulasi monte carlo adalah nilai siklus (NL) yang terjadi dan tegangan maksimum (Se).

Pengerjaan simulasi Monte Carlo menggunakan software MS. Excel, sedangkan untuk mendapatkan Random Number Generate (RNG) menggunakan Software Minitab 15. Simulasi dilakukan sebanyak 10.000 kali. Maka didapat peluang kegagalan jacket platform adalah sebagai berikut (lihat table 5 dan 6) :

Tabel 5. Peluang Kegagalan Hasil Simulasi Monte Carlo

Member	Sambungan	PoF
301-403	403	0.673
203-301	301	0.398

Tabel 6. Peluang Kegagalan per Tahun (Annual Probability of Failure)

Member	Sambungan	PoF	Fatigue Life (Years)	Annual PoF(ΔP_f) (yr ⁻¹)	Indeks Keandalan (β)
301-403	403	0.673	214.350	3.139×10^{-3}	2.74
203-301	301	0.398	432.043	9.212×10^{-4}	3.12

Konsekuensi adalah salah satu variabel dalam menentukan besarnya resiko kegagalan suatu obyek (dalam studi ini yaitu sambungan struktur). Mengacu pada katagori konsekuensi yang sudah dipaparkan diatas, maka dilakukan analisa konsekuensi terhadap kegagalan stuktur jacket akibat bahaya kelelahan.

Analisa ini dilakukan pada sambungan kritis (yang memiliki umur kelelahan terkecil). Apabila terjadi kegagalan pada sambungan struktur akibat beban kelelahan maka tubular member yang ada pada jacket dapat mengalami berbagai kemungkinan gagal diantaranya, penyok, patah, sobek, buckling, dll. Apabila hal-hal ini terjadi maka akan berdampak pada penurunan kekuatan global struktur dan pada akhirnya berpotensi runtuh atau Collaps. Struktur jacket platform

tidak dihuni oleh manusia (unmanned) dan tidak berpotensi kebakaran. Sehingga dalam katagori keselamatan jiwa, kegagalan struktur jacket tidak berpotensi menyebabkan timbulnya korban jiwa (manusia). Namun potensi kejadian kecelakaan manusia saat inpeksi dan maintenance masih memungkinkan untuk terjadi. Walaupun begitu konsekuensi atas keruntuhan struktur akan berdampak cukup signifikan terhadap produksi, biaya dan lingkungan.

Pertama stuktur jacket platform merupakan platform yang berfungsi sebagai wellhead platform. Setiap hari struktur jacket platform melakukan eksploitasi untuk memproduksi minyak bumi. Apabila kegagalan kecil pada sambungan tubular member terjadi misalnya retak, penyok, dll, namun dalam kondisi yang masih diijinkan dan belum berpotensi menyebabkan runtuh, maka diperlukan perbaikan dan pemeliharaan. Perbaikan dan pemeliharaan dapat mengganggu produksi jacket platform. Pada suatu kondisi bisa saja mengharuskan

penghentian produksi untuk sementara waktu dikarenakan harus dilakukan perbaikan yang memiliki resiko cukup tinggi jika proses produksi masih berlangsung. Sehingga hal tersebut dapat menyebabkan kerugian baik waktu, kebutuhan akan minyak maupun biaya.

Kedua, apabila kegagalan yang terjadi itu tidak di sadari dan menyebabkan keruntuhan struktur jacket platform, maka konsekuensi yang diterima lebih besar. Produksi minyak tidak hanya berhenti sementara waktu (diperkirakan lebih dari satu bulan), namun akan berhenti sama sekali karena struktur pendukungnya sudah runtuh atau roboh. Keruntuhan platform juga dapat menyebabkan bocornya pipa-pipa minyak yang menyalurkan minyak dari sumur (well) ke tempat proses produksi dan penyimpanan. Hal ini berdampak pada lingkungan, karena dapat menyebabkan polusi. Dari hasil analisa ini jika di plotkan pada matriks katagori konsekuensi diatas makan dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 7. Katagori Konsekuensi Kegagalan

Consequences Catagory	L-1	L-2	L-3
	Low	Medium	High
Consequence Safety	No potential for injuries. No potential for fire or effect on safety systems.	Potential for injuries requiring medical treatment. Limited effect on safety systems. No potential for fire	Potential for serious personnel injuries. Render safety critical systems inoperable. Potential for fire.
Consequence Containment	Non-flammable media Non toxic media Natural/normal pressure / temperature media	Flammable media below flashpoint Moderately toxic media High pressure / temperature media (>100bar/80°C)	Flammable media above flashpoint Highly toxic media Extremely high pressure / temperature media
Consequence, Environment; restitution time (***)	No potential for pollution (specify limit) < 1 month	Potential for Moderate pollution. 1 month – 1 yrs	Potential for large pollution. > 1 yrs
Consequence production	No production loss	Delayed effect on production (no effect in x days) or reduced production	Immediate and significant loss of production
Consequence other	No operational or cost consequences	Moderate operational or cost consequences	Significant operational or cost consequences

Dari analisa konsekuensi diatas, maka didapatkan kesimpulan bahwa konsekuensi atas kegagalan struktur jacket platform akibat beban kelelahan berdasarkan beberapa kategori konsekuensi, yaitu berada pada Level 2 (L-2)

6. Resiko

Matriks resiko yang digunakan mengacu pada API RP 2A WSD (2007) dengan komponen Pof dan konsekuensi yang telah ditentukan sebelumnya. Untuk Pof diambil dari peluang kegagalan sambungan kritis struktur jacket terhadap bahaya kelelahan. Sedangkan untuk konsekuensi, kriteria yang digunakan mengacu pada API RP 2A platform exposed category dan mengkombinasikan dengan standar Norsok Z-008. Berikut adalah tabel rangking frekuensi untuk menilai probability of failure yang sudah didapat sebelumnya.

Tabel 8. Tabel Rangking Frekuensi (Sulistiyono, 2010)

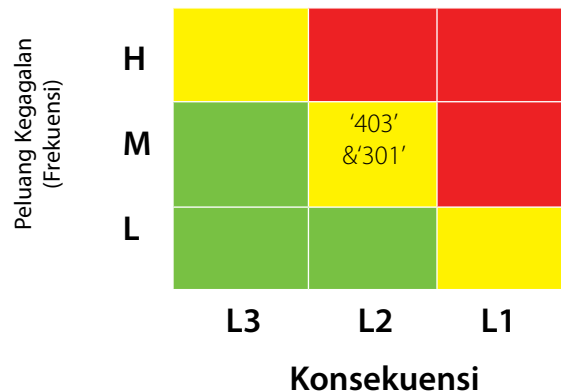
Rangking	Deskripsi	Frekuensi	Level Resiko
F1	Improbable	$< 10^{-5}$	Low
F2	Remote	$10^{-4} > 10^{-5}$	Medium
F3	Occasional	$10^{-3} > 10^{-4}$	
F4	Probable	$10^{-2} > 10^{-3}$	High
F5	Frequent	$> 10^{-2}$	

Setelah didapat peluang kegagalan (probability of failure (pof)) dari masing-masing sambungan struktur yang ditinjau dan juga konsekuensi struktur akibat beban kelelahan, maka didapatkan besar resiko kegagalan. Resiko merupakan perkalian antara peluang kegagalan/ probability of failure (PoF) dan Konsekuensi.

Tabel 9. Data Matrik Resiko

Member	Sambungan	Kegagalan pertahun (annual pof) (yr-1)	Kategori Frekuensi	Kategori Konsekuensi
301-403	403	2.95×10^{-3}	Occasional (F3)	L2
203-301	301	9.24×10^{-4}	Remote (F2)	L2

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa Peluang Kegagalan/ Probability of Failure (PoF) sambungan struktur "403" masuk pada kategori frekuensi F3 (Occasional) pada level resiko medium dan sambungan struktur "301" masuk pada kategori frekuensi F2 (Remote) pada level resiko medium. Sedangkan kategori konsekuensi pada level 2 (L-2). Sehingga didapatkan Matriks resiko seperti pada Gambar 7



Gambar 7. Matrik Resiko Struktur ETB terhadap bahaya kelelahan (Fatigue Hazard)

Dari matrik resiko diatas dapat diketahui bahwa resiko yang didapat oleh struktur jacket platform masuk pada level resiko medium (daerah ALARP). Pada level ini resiko boleh saja diterima, namun alangkah lebih baiknya dilakukan mitigasi atau rekomendasi tindakan untuk menurunkan resiko struktur terhadap bahaya kelelahan (fatigue Hazard) dalam rangka perpanjangan umur operasi.

7. Mitigasi/ Rekomendasi

Penilaian resiko yang telah dilakukan pada studi ini menghasilkan level resiko menengah (medium), level resiko yang masih dapat diterima. Namun alangkah baiknya jika resiko tersebut di turunkan menjadi resiko yang lebih rendah (low risk). Oleh karena itu perlu adanya mitigasi. Mitigasi adalah tindakan yang dilakukan untuk menurunkan level resiko yang didapat dengan minimumkan konsekuensi akibat dari kegagalan struktur atau meminimalkan frekuensinya. Pada studi ini, mitigasi yang direkomendasikan yaitu dengan melakukan langkah-langkah antisipasi dan preventif agar peluang kegagalan struktur akibat bahaya kelelahan struktur menurun dengan melakukan :

1. Membuat program inspeksi yang terpadu berdasarkan resiko (RBI)
2. Membuat Sistem perbaikan dan pengganti komponen yang baik
3. Membuat Sistem pembaharuan catodic protection
4. Menjamin kualitas pengelasan yang baik
5. Ketentuan toleransi korosi

Dengan mengimplementasikan mitigasi diatas, diharapkan resiko yang didapat akibat bahaya kelelahan struktur dapat menurun menjadi level resiko rendah (low risk) sehingga dengan resiko yang ditanggung struktur saat ini memungkinkan untuk struktur melanjutkan / memperpanjang umur operasinya selama 20 tahun mendatang (hingga 2028).

8. Daftar Pustaka :

1. API RP 2A, (2000) "Recommended Practice for Planning, Designing & Constructing Fixed Offshore Platforms– Working Stress Design", 21th Edition, American Petroleum Institute.
2. Irfan, Muhammad. (2011). "Analisa Kelelahan Berbasis Resiko Pada "ETB" Jacket platform untuk Perpanjangan Umur Operasi". Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan. ITS
3. Norsok Standard Z-008. 2010. "Risk Based Maintenance and consequence classification".
4. Omotoso, M.F., Salau, M.A., & Esezobor D.E. (2011). "Risk Based Assessment for Offshore Jacket Platform in Nigeria Delta, Nigeria (Corrosion and Fatigue Hazards)". ARPN Journal of Anginerig nad Appllied Science. Vol 6 No.12. Des 2011
5. Sulistiyono, Bhakti. (2010). "Analisa Resiko Operasional Struktur". Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan. ITS

9. Biodata Penulis

Muhammad Irfan, S.T, staf peneliti di satuan penelitian dan pengembangan PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero), dengan bidang keahlian struktur bangunan laut (offshore strcture). Penulis lulus Sarjana (S1) pada tahun 2011 di Teknik Kelautan ITS Surabaya. Saat ini penulis sedang menempuh pendidikan Magister Teknik (S2) di Program Pascasarjana Teknologi Kelautan bidang Teknik Perencanaan Bangunan Laut di ITS Surabaya. Saat ini penulis sedang menyusun Tesis tentang analisis kelelahan mooring line pada Singgle Poin Mooring (SPM).

DAFTAR LENGKAP ALAMAT KANTOR PT. BIRO KLASIFIKASI INDONESIA

Kantor Pusat

Jl. Yos Sudarso Kav.38-40
Jakarta - 14320
Phone: 62-21-4301017
Fax: 62-21-43936175
Email: bki@klasifikasiindonesia.com
Website: www.klasifikasiindonesia.com

Kantor Cabang Utama

BATAM MAIN BRANCH

Graha BKI, Jl.Yos Sudarso Kav.5
Batam - 29421
Phone: 62-778-433388, 429023, 429024, 451288
Fax: 62-778-429020, 429021
Email: bm@bki.co.id

SAMARINDA MAIN BRANCH

Jl. Cipto Mangunkusumo Ruko Rapak Indah No.10
Samarinda Seberang, Samarinda-75132
Phone: 62-541-261423
Fax: 62-541-261425
Email: sd@bki.co.id

SURABAYA MAIN BRANCH

Jl. Kalianget No.14
Surabaya - 60165
Phone: 62-31-3295448, 3295449, 3295450, 3295451, 3295456
Fax: 62-31-3294520, 3205451
Email: sb@bki.co.id

TANJUNG PRIOK MAIN BRANCH

Jl. Yos Sudarso 38-39-40 Tanjung Priok
Jakarta - 14320
Phone: 62-21-4301017-18-19, 4301703, 430099, 4353291-92
Fax: 62-21-4301702
Email: tp@bki.co.id

Kantor Cabang Madya

BANJARMASIN MIDDLE BRANCH

Jl. Skip Lama No. 19
Banjarmasin - 70117
Phone: 62-511-3358311, 3350893
Fax: 62-511-3350175
Email: bj@bki.co.id

BELAWAN MIDDLE BRANCH

Jl. Veteran No.218 Belawan
Medan - 20411
Phone: 62-61-6941025, 6941157
Fax: 62-61-6941276
Email: bn@bki.co.id

CILEGON MIDDLE BRANCH

Jl. Raya Bojonegara KM.2
Ds. Karang Tengah, Kec. Cibeber
Cilegon, Banten - 42422
Phone: 62-254-5751683, 8488692
Fax: 62-254-5751682
Email: cg@bki.co.id

PALEMBANG MIDDLE BRANCH

Jl. Perintis Kemerdekaan, 5 Ilir
Palembang - 30115
Phone: 62-711-713171, 713172, 713680, 717151
Fax: 62-711-713173
Email: pb@bki.co.id

SEMARANG MIDDLE BRANCH

Jl. Pamularsih No.12
Semarang - 50148
Phone: 62-24-7610399, 7610744
Fax: 62-24-7610422
Email: sm@bki.co.id

SINGAPORE MIDDLE BRANCH

371 Beach Road # 02-24 Keypoint
Singapore - 199597
Phone: 65-68830651, 68830634, 68830643
Fax: 65-63393631
Email: sg@bki.co.id

Kantor Cabang

AMBON BRANCH

Jl. Laksda Lea Wattimena lorong RRI Pemancar
Passo Ambon
Phone : 62-911-362805, 362806
Email: ab@bki.co.id

BITUNG BRANCH

Jl. Babe Palar No. 53, Madidir Unet
Bitung - 95516
Phone: 62-438-38720, 38721, 38722
Fax: 62-438-21282
Email: bt@bki.co.id

CIREBON BRANCH

Jl. Tuparev KM.3
Cirebon - 45153
Phone: 62-231-205266
Fax: 62-231-205266
Email: cn@bki.co.id

JAMBI BRANCH

Jl. Raden Bahrun No.E 11 Rt.11/Rw.04
Kel. Sungai Putri, Kec. Telanaipura
Jambi
Phone: 62-741-671107
Fax: 62-741-671108
Email: jb@bki.co.id

MAKASSAR BRANCH

Jl. Sungai Cerekang No.28
Makassar - 90115
Phone: 62-411-311993, 315460
Fax: 62-411-315460
Email: ms@bki.co.id

PEKANBARU BRANCH

Jl. Arifin Achmad No.40, Samping Gedung DPRD
Pekanbaru
Phone: 62-761-7622329, 7622384
Fax: 62-761-7622520
Email: dm@bki.co.id

PONTIANAK BRANCH

Jl. Gusti Hamzah No.211
Pontianak - 78116
Phone: 62-561-739579, 743107

Fax: 62-561-739579, 743107
Email: pk@bki.co.id

SORONG BRANCH

Jl. Jend. Sudirman No.140
Sorong - 98414
Phone: 62-951-322600
Fax: 62-951-323870
Email: sr@bki.co.id

Kantor Unit Usaha

BALIKPAPAN MARINE & INDUSTRIAL UNIT

Jl. M.T Haryono No.8 Ring Road
Balikpapan - 76111
Phone: 62-542-876637, 876641, 876642, 876643
Fax: 62-542-876639, 876645
Email: bp@bki.co.id

BATAM MARINE & INDUSTRIAL UNIT

Graha BKI, Jl.Yos Sudarso Kav.5
Batam - 29421
Phone: 62-778-433388, 429023, 429024, 451288
Fax: 62-778-429020, 429021
Email: mibm@bki.co.id

JAKARTA MARINE & INDUSTRIAL UNIT

Jl.Yos Sudarso 38-40 Tanjung Priok
Jakarta - 14320
Phone: 61-21-4301017
Fax: 61-21-43936175
Email: mijk@bki.co.id

PEKANBARU MARINE & INDUSTRIAL UNIT

Jl. Arifin Ahmad No.40
Kel. Tangkerang Tengah, Kec. Marpoyan Damai
Pekanbaru - 28282
Phone: 62-761-7662160, 7662170
Fax: 62-761-7662180
Email: mipr@bki.co.id

SURABAYA MARINE & INDUSTRIAL UNIT

Jl. Kalianget No.14
Surabaya - 60165
Phone: 62-31-3295448, 3295449, 3295450, 3295451, 3295456
Fax: 62-31-3294520, 3205451
Email: misb@bki.co.id

DAFTAR RULES & GUIDELINES BKI

Rules, guidelines dan guidance dibawah ini dapat diunduh melalui <http://www.bki.co.id/ajax/Login.php> dengan terlebih dahulu membuat akun unduh rules dan guidelines.

Part/Vol.	Rules/Guidelines/Guidance	Edition
Part 0-General		
Guidance		
A	Petunjuk Masuk Ruang Tertutup	2014
Part 1- Seagoing Ships (Rules/Guidelines/Guidance for The Classification and Construction)		
RULES		
I	Rules for Classification and Surveys	2014
II	Rules for Hull	2014
III	Rules for Machinery Installations	2014
IV	Rules for Electrical Installations	2014
V	Rules for Materials	2014
VI	Rules for Welding	2013
VII	Rules for Automation	2013
VIII	Rules for Refrigerating	2014
IX	Rules for Ships Carrying Liquefied Gasses in Bulk	2013
X	Rules for Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk	2013
XI	Rules for Approval of Manufacturers and Service Suppliers	2014
XII	Rules for Fishing Vessel	2003
XIII	Regulation (Rules) for The Redundant Propulsion and Steering Systems	2002
XIV	Rules for Non Metallic Material	2006
XV	IACS Common Structural Rules for Bulk Carriers	2014
XVI	IACS Common Structural Rules for Oil Tankers	2014
Guidelines		
1	Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ship	2013
2	Guidelines for Ocean Towing	2001
3	Guidelines for Machinery Conditioning Monitoring	2011
4	Guidelines for the Explosion Protection of Electrical Equipment	2001
5	Guidelines for the Carriage of Refrigerated Containers on Board Ships	2004
6	Guidelines for Analysis Techniques Strength	2005
8	Guidelines for Determination of the Energy Efficiency Design Index	2014
Guidance		
A	Regulation (Guidance) for Ventilation System on Board Seagoing Ships	2004
B	Guidance for Sea Trials of Motor Vessels	2002
C	Buku Petunjuk Pemakaian UT Measurement Report	2006
D	Regulations (Guidance) for the Inspection of Anchor Chain Cables	2002
E	Regulation (Guidance) For The Construction And Testing Towing Gears	2000

F	Regulation (Guidance) for the Performance of Type Tests	2002
G	Regulation (Guidance) for the Corrosion Protection and Coating Systems	2004
H	Regulations (Guidance) for Assessment and Repair of Defects on Propellers	2000
Part 2-Inland Waterway		
RULES		
I	Rules for Inland Waterway Vessels-Hull Construction	1996
II	Rules for Inland Waterway Vessels-Machinery Installation	1996
III	Rules for Inland Waterway Vessels-Electrical Installation	1996
Part 3-Special Ships		
RULES		
I	Rules for Oil Recovery Vessel	2005
II	Rules for Floating Dock	2002
III	Rules for High Speed Craft	2000
IV	Rules for High Speed Vessels	1996
V	Rules for Fibreglass Reinforced Plastics Ships	1996
VI	Peraturan Kapal Kayu	1996
VII	Rules for Small Vessel Up to 24 M	2013
Guidelines		
Part 4-Special Equipment And Systems		
Rules		
I	Rules for Stowage and Lashing of Containers	2011
II	Rules for Dynamics Positioning Systems	2011
III	Regulation (Rules) for the Bridge Design on Seagoing Ships One Man Console	2004
Guidance		
A	Guide (Guidance) for Risk Evaluation for the Classification of Marine Related Facilities	2012
B	Regulation (Guidance) for the Classification and Construction of Fiber Reinforced Plastics Workboat	2003
Reference		
	Reference Notes on Risk Assessment for the Marine and Offshore Oil and Gas Industries	2012
Part 5-Offshore Technology		
Rules		
I	Rules for Classification and Construction of Offshore Installations	2011
	Rules for Classification and Surveys	
II	Rules for Classification and Construction of Offshore Installations	2011
	Rules for Structures	
III	Rules for Classification and Construction of Offshore Installations Rules for Specific Type of Units and Equipment	2002
IV	Rules for Classification and Construction of Offshore Installations Rules for Machinery Installations	2011
V	Rules for Classification and Construction of Offshore Installations Rules for Electrical Installations	2011

VI	Rules for Mobile Offshore Unit	2011
VII	Rules for Fixed Offshore Installation	2011
VIII	Rules for Offshore Mooring Chains	2000
IX	Rules for Single Point Mooring	2013
XII	Rules for Facilities on Offshore Installation	2013
Guidelines		
1	Guidelines for the Construction and Classification and Classification/Certification of Floating Production Storage and Offloading Unit	2011
2	Guidelines for Floating Offshore Liquefied Gas Terminals	2013
3	Guidelines for Floating Production Installations	2013
Guidance		
A	Guidance for Survey Using Risk Based Inspection for the Offshore Industry	2012
Part 6-Statutory (Rules/Guidelines/Guidance for Statutory Implementation)		
Regulation		
I	Regulation for the Audit and Registration of Safety Management Systems	2012
II	(Regulation) Rules for the Verification and Registration of Ship Security Management System	2004
Guidelines		
1	Guidelines for The Preparation Damage Stability Calculations and Damage Control Documentation on Board	2005
3	Guidelines on Intact Stability	2014
Guidance		
A	Guidance for the Audit and Registration of Safety Management Systems	2012
B	Guidance for the Verification and Registration of Ship Security Management Systems	2004
C	Petunjuk Pengujian Kemiringan dan Periode Oling Kapal	2003
G	Guidance on Intact Stability	2014
Part 7-Class Notation		
Guidelines		
1	Guidelines for Certification of Lifting Appliances	2013
2	Guidelines for Dynamic Loading Approach	2013
3	Guidelines for Spectral-Based Fatigue Analysis	2013
Guidance		
A	Guidance for the Class Notation Helicopter Deck and Facilities (HELIL & HELIL(SRF))	2013
B	Guidance for Crew Habitability on Ship	2014
C	Guidance for Crew Habitability on Offshore Installation	2014
D	Guidance for Hull Inspection and Maintenance Program	2013
E	Guidance for Planned Maintenance Program	2013
F	Guidance for the Environmental Service Systems for Ships and Offshore Units, Floating Installations and Liftboats	2013
G	Guidance for Coating Performance Standards	2013
H	Guidance for the Class Notation Emergency Response Service (ERS)	2013
I	Guidance for Survey Based on Reliability Centered-maintenance	2012

PEDOMAN PENULISAN JURNAL TEKNIK BKI

1. **Naskah tulisan**, dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris.
2. **Format penulisan**, maksimal 10 halaman dalam 1 kolom ukuran kertas A4 dengan font Times New Roman ukuran 12, spasi 1,5. Batas atas dan bawah 2,5 cm, tepi kiri 3 cm dan tepi kanan 2,5 cm.
3. **Judul**, menggunakan huruf capital tebal (bold) ukuran font 14 posisi di tengah
4. **Nama penulis**, nama lengkap dibawah judul disertai nama instansi dan alamat email dengan huruf miring (italic), ukuran font 10 pt.
5. **Foto penulis**, dilampirkan foto penulis utama dalam soft copy format jpg atau pdf ukuran minimal 3 x 4.
6. **Abstrak**, diutamakan dalam bahasa Inggris, ditulis dengan huruf miring (italic) dengan font 10. jarak spasi 1, memuat ringkasan lengkap isi tulisan, maksimum 5% tulisan atau 250 kata.
7. **Kata kunci**, 2-5 kata, diutamakan bahasa Inggris sesuai abstrak.
8. **Kerangka tulisan**, berisi isi dengan bobot prosentase:

• Pendahuluan	5%
• Tinjauan Pustaka	15%
• Metodologi	20%
• Diskusi Hasil & Pembahasan	55%
• Kesimpulan dan saran	5%
• Ucapan terima kasih (bila ada untuk sponsor, pembimbing, asisten, dsb)	
• Daftar pustaka	
• Biodata singkat penulis (Nama, kualifikasi dan pengalaman kerja)	
9. **Kutipan referensi**,
 - Bila seorang (Joko, 2014)
 - Bila 2 orang (Joko & Slamet, 2(14))
 - Bila 3 orang (Joko, et al., 2014)
10. **Daftar pustaka**, disusun berdasarkan alphabet, dengan ketentuan sbb:
 - a. Buku: Penulis (Tahun). Judul Buku. Penerbit.
 - b. Jurnal: Penulis (Tahun). Judul Tulisan. Nama Jurnal (cetak miring). Volume (Nomor). Halaman.
 - c. Paper dalam prosiding: Penulis (tahun). Judul Tulisan. Nama Seminar (cetak miring). Tanggal Seminar. Halaman.
 - d. Tesis/TA: Penulis (Tahun). Judul. Tesis/TA. Universitas.
 - e. Engineering Standard: Penulis (Tahun). Judul Buku. Penerbit.
 - f. Dokumen Pemerintah: Organisasi (Tahun). Nama Dokumen. Tempat.
 - g. Manual Laboratorium: Judul Manual (Tahun). Nama Buku Manual. Penerbit.
11. **Tabel dan Gambar**, bisa diedit dan harus diberi nomor secara berurutan sesuai dengan urutan pemunculannya. Setiap gambar dan tabel perlu judul singkat yang diletakkan di atas untuk tabel dan di bawah untuk gambar. Khusus gambar disertakan juga dalam file terpisah yang beresolusi tinggi (min. 350kB).
12. Naskah tulisan dikirim dalam bentuk soft copy ke alamat email propulsi@bki.co.id.

PT. BIRO KLASIFIKASI INDONESIA (Persero)



Kantor Pusat Head Office

Jl. Yos Sudarso No. 38 - 40, Tanjung Priok, Jakarta Utara - 14320

Telp. (+62-21) 4301017, 4301703, 4300993 Facs. (+62-21) 43936175, 43901973

e-mail : ho@bki.co.id Website : www.bki.co.id



PT. BIRO KLASIFIKASI INDONESIA (Persero)

