

KAJIAN AWAL PENENTUAN LAMBUNG TIMBUL & TINGGI HALUAN MINIMUM KAPAL UNTUK WILAYAH PERAIRAN RI

PRELIMINARY STUDY OF MINIMUM FREEBOARD AND BOW HIGH FOR INDONESIAN WATERS.

Moch. Zaky

Peneliti Hidro & Stabilitas Kapal
PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero)
Jl. Yos Sudarso 38-40 Jakarta 14320
email : zaky@klasifikasiindonesia.com

Baharuddin Ali

Peneliti Bidang Hidrodinamika
UPT-BPPH BPP Teknologi
Jl. Hidrodinamika ITS Surabaya 60112
email : b4li313@gmail.com

Diterima: 15 Maret 2013, Revisi 1: 4 April 2013, Revisi 2: 15 April 2013, Disetujui: 26 April 2013

ABSTRAK

Lambung timbul dipertimbangkan sebagai elemen yang penting dalam keselamatan kapal. Sehingga untuk menjaga kelayakan laut, kapal harus memiliki beberapa daya apung cadangan, seperti volume diatas luasan garis air dan dibawah geladak kedap air. BKI sebagai badan klasifikasi nasional memiliki peranan penting dalam penentuan lambung timbul melalui kegiatan survai dan sertifikasi lambung timbul kapal. Studi awal mengenai lambung timbul dan koreksi tinggi haluan dilakukan terhadap kapal register BKI untuk wilayah perairan Indonesia melalui pengujian model kapal tipe barang yang selanjutnya dijadikan acuan dalam perhitungan garis muat kapal. Perhitungan lambung timbul dan koreksi tinggi haluan dilakukan berdasarkan analisis probabilitas kebasahan geladak pada posisi belakang, tengah dan haluan. Hasil analisis respon kapal akibat gelombang (RAO) menunjukkan bahwa pada arah gelombang dari depan dominan terjadi pada gerakan anggukan dan arah gelombang dari samping dominan terjadi pada gerakan putar. Untuk analisis probabilitas kebasahan geladak perubahan sudut hadap kapal terhadap gelombang berpengaruh signifikan terhadap terjadinya kebasahan geladak. Pada kondisi *head seas* kebasahan geladak terjadi pada posisi stem tetapi masih memenuhi kriteria *seakeeping*. Untuk arah *beam sea* tidak terjadi kebasahan geladak pada semua titik *deck wetness*. Hasil analisis menunjukkan bahwa margin keselamatan berdasar probabilitas kebasahan geladak masih cukup tinggi.

Kata kunci: lambung timbul, daya apung, *waterplane*, BKI, tinggi haluan, kebasahan geladak, sudut hadap, gerakan anggukan, gerakan putar, *seakeeping*

ABSTRACT

Freeboard was considered long ago as an important element of ship safety. It was recognized that in order to maintain seaworthiness ships must possess some amount of reserve buoyancy, i.e. some volume above the waterplane and below the watertight deck. Indonesian Bureau Classification, known as BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) has authorized by the Government to carry out the survey and certification of freeboard. A preliminary study of minimum freeboard and bow height will be performed on ships register BKI for Indonesian waters by model test of general cargo ship are later become a reference in the calculation of load line. Freeboard calculation and bow height correction are performed based on probability of deck wetness analysis on the stern, midship and stem positions. The results of ship due to wave response analysis (RAO) showed that heading angle on head seas occurred at pitching motion and also beam sea occurred at rolling motion. It is found that the deck wetness is sensitive to wave heading, from the results in head seas a maximum value of deck wetness occurred on stem but still meet with seakeeping criteria, otherwise the deck wetness not occurred in beam sea condition. The results of experiment showed that safety margin based on probability of deck wetness is still high.

Keywords: freeboard, reserve buoyancy, *waterplane*, BKI, bow height, deck wetness, heading angle, pitching, rolling, *seakeeping*

PENDAHULUAN

Berbagai macam transportasi laut beroperasi diperairan Indonesia untuk menunjang mobilitas orang dan barang, disamping pula sebagai moda transportasi penghubung antar pulau. Peningkatan aktifitas transportasi laut secara nasional akan berdampak juga pada semakin meningkatnya insiden dan kecelakaan. Hal ini ditunjukkan dengan tingginya kecelakaan kapal di wilayah perairan Indonesia. Berdasar data dari Direktorat Jenderal Perhubungan Laut selama periode 2007-2011 telah terjadi 27 kecelakaan kapal di perairan Indonesia yang diakibatkan oleh *sinking* 37%, kebakaran/meledak 41%, dan tubrukan 22% (KNKT, 2011). Keselamatan kapal salah satunya dipengaruhi oleh besarnya lambung timbul dan tinggi haluan sesuai aturan garis muat, dimana salah satu penyebab terjadinya kapal tenggelam adalah masuknya air diatas geladak atau *green water* akibat gerakan kapal dan gelombang air laut (Battacharya, 1978).

Beberapa negara telah terlibat dalam studi yang berkaitan dengan revisi peraturan garis muat ILLC 1966. Proses revisi terdiri dari beberapa macam bagian tidak hanya mengenai aturan minimum tinggi haluan dan lambung timbul yang berkaitan dengan kebasahan geladak (*deck wetness*), akan tetapi juga isu mengenai kedekatan (*watertight integrity*), ukuran dan lokasi bukaan, keselamatan ABK, dan interpretasi terhadap peraturan yang berkaitan dengan instrumen IMO lainnya. Begitu pula dengan Indonesia, beberapa peneliti telah melakukan studi berkaitan dengan karakteristik gerakan kapal ketika beroperasi diperairan Indonesia, salah satu studi terbesar yang telah dilakukan adalah kerjasama antara beberapa universitas di Indonesia dan Jepang, termasuk juga BPPT (JSPS-DGHE, 2006).

BKI sebagai satu-satunya badan klasifikasi nasional yang mengkelaskan kapal-kapal berbendera Indonesia telah diberi kewenangan oleh Pemerintah Indonesia untuk melaksanakan survai dan menerbitkan sertifikat garis muat nasional (KM 3 Tahun 2005) dan Internasional (ILLC 1966). Sehingga sangatlah perlu BKI berkontribusi dalam memberikan masukan kepada pemerintah dalam penyusunan aturan domestik garis muat melalui studi perilaku gerakan kapal (*seakeeping*) ketika beroperasi diperairan Indonesia, khususnya untuk kapal-kapal yang telah teregister di BKI.

TINJAUAN PUSTAKA

Kondisi Kapal Berbendera Indonesia

Berdasar pada data kapal-kapal yang terdaftar di Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, jumlah kapal di Indonesia hingga April 2010 yaitu 52.890 unit terdiri dari bobot kapal < 500 GT sebanyak 46.076 unit dan bobot kapal $\geq$ 500 GT sebanyak 6.814 unit (Hubla, 2010). Adapun data kapal aktif yang masuk klas dan telah teregister BKI sampai dengan bulan Juli 2012 yaitu total 8192 unit, dengan total bobot mati 12.911.545 GT, dengan populasi 34% tipe pusher dan tug boat, 32% tipe tongkang/barge, 10.5% tipe kapal barang, 5% tipe tanker, 4.5% tipe kapal penumpang dan feri ro-ro dan 14% sisanya tipe kapal yang lain (Register BKI, 2012). Untuk usia kapal yang teregister di BKI sebagian besar berada pada usia 0-5 tahun dan usia kapal > 25 tahun, untuk kapal usia 0-5 tahun sebagian besar tipe tongkang dan tug boat sedangkan untuk usia kapal > 25 tahun merupakan kapal-kapal bekas yang dibeli dari luar negeri.

Kondisi kapal yang saat ini beroperasi di Indonesia khususnya yang berkaitan dengan lambung timbul dan tinggi haluan minimum dapat dikategorikan yaitu kapal tipe feri ro-ro, *Landing Craft* (LCT) dan *Self Propulsion Barge* (SPB) umumnya tidak memiliki bangunan atas dibagian depan (*forecastle*), sehingga tinggi haluan minimum hanya dihitung.



Gambar 1. Tipikal Kapal Ex-Jepang Dengan Tween Deck.

Untuk kapal barang sesuai gambar 1, khususnya yang dibeli dari Jepang kebanyakan oleh pemilik kapal dinaikkan saratnya untuk menambah muatan, dimana awalnya sarat maksimum berada dibawah *tween deck* sebagai *freeboard deck*, dengan adanya kenaikan sarat maka posisi *freeboard deck* berubah ke *upper deck*. Hal ini berdampak pada pengurangan tinggi haluan minimum sehingga tidak memenuhi persyaratan tinggi haluan minimum sesuai aturan ILLC 66.

Teori Probabilitas *Deck Wetness*

Masuknya air kegeladak kapal atau *green water*

sebagian besar disebabkan oleh gerakan relatif haluan, yaitu gerakan relatif geladak haluan terhadap permukaan gelombang, dan juga dipengaruhi oleh tinggi lambung timbul. Probabilitas kebasahan geladak (*deck wetness*) adalah fungsi gerakan relatif haluan terhadap gelombang dan kuadrat lambung timbul haluan. Adapun probabilitas kebasahan geladak jangka pendek (*short term*) P_s sesuai (Journée dkk, 2001) didefinisikan sebagai :

$$P_s = P\{S_a > F_b\} = \exp\left[\frac{-H_b^2}{2m_{0s}}\right] \tag{1}$$

Dimana:
 P_s = Probabilitas
 s_a = Amplitudo gerakan relatif vertikal di haluan
 F_b = Lambung timbul
 m_{0s} = Luasan spektrum gerakan relatif
 H_b =Tinggi haluan (kondisi air tenang)
 Sehingga tinggi Lambung timbul H_b menjadi:

$$Hb = \sqrt{-2m_{0s} \cdot \ln(P_s)} \tag{2}$$

Untuk probabilitas jangka panjang (*long term*), P_{Lij} diperoleh melalui perkalian probabilitas jangka pendek P_{si} dengan probabilitas kejadian $PW_{ij}=P\{H_{1/3}, T_{2j}\}$ yang diambil dari data *long term* dari diagram scatter pada masing-masing area untuk kondisi badai, ij .

$$P_{Lij} = P_{Sij} \cdot P_{wij} \tag{3}$$

Maka untuk sebuah diagram *scatter* gelombang dengan *sea state* $N_i \times N_j$, penjumlahan dari probabilitas tiap area menjadi 1.0:

$$\sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_j} P_{wij} = 1.0 \tag{4}$$

Karena semua data pada diagram *scatter* gelombang telah dibagi dengan jumlah total pengamatan. Total probabilitas jangka panjang untuk kebasahan geladak dihaluan P_L ditentukan menggunakan diagram *scatter* gelombang dan penjumlahan probabilitas jangka panjang kebasahan geladak masing-masing N .

$$P_L = \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_j} P_{Lij} = \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_j} P_{Sij} \cdot P_{wij} \tag{5}$$

Untuk menentukan besarnya lambung timbul dan

tinggi haluan minimum diperairan Indonesia diperlukan sebuah klarifikasi melalui sebuah pengujian model kapal untuk menganalisa kebasahan geladak sehingga bisa diketahui kuantitas air laut yang bisa masuk keatas geladak kapal, dengan beberapa kondisi batas yaitu kecepatan kapal, arah gelombang terhadap kapal (*heading*), posisi atau titik kebasahan geladak. Selanjutnya hasil dari pengujian akan divalidasi dengan kriteria *seakeeping*, NORDFORSK, 1987 (Faltinsen, 1990).

METODOLOGI

Data Kapal dan Gelombang Perairan Indonesia

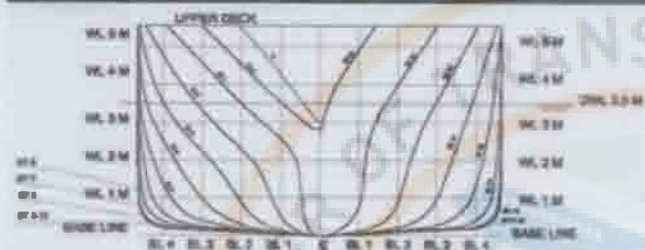
Kajian awal dilakukan pada tipe kapal barang ex Jepang yang mengalami kenaikan sarat ketika beroperasi diperairan Indonesia, dimana sarat awal 3,3 meter menjadi 3,5 meter, spesifikasi kapal sesuai tabel 1. Analisa kebasahan geladak dilakukan melalui pengujian model dalam kondisi *free running*. Pengujian dilakukan dikolam Manouvering dan Ocean Basin (MOB) Laboratorium Hidrodinamika BPPT Surabaya dengan ukuran 60 m x 35 m x 2.5 m untuk masing-masing panjang, lebar dan kedalaman. Kolam uji dilengkapi dengan peralatan pembangkit gelombang untuk membangkitkan gelombang regular maupun irregular dan *wave absorber* untuk meredam gelombang pantul. Pengujian dilakukan menggunakan gelombang irregular dengan durasi setara dengan sekitar 2 jam dalam skala penuh.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

Item	Kapal	Model
LOA (m)	57.600	2.504
LPP (m)	53.000	2.304
Lebar, B (m)	9.300	0.404
Tinggi, H (m)	5.550	0.241
Sarat, T Full Load (m)	3.500	0.152
Koefisien Blok, C_B	0.690	0.690
Displasemen (Ton)	1273	0.102
LCG dari Transome (m)	26.077	1.134
VCG dari Baseline (m)	3.331	0.145
Jari Girasi Roll, k_{xx} (m)	2.530	0.110
Jari Girasi Pitch, k_{yy} (m)	13.800	0.600
Kecepatan Kapal (knot)	10 (Fn=0.22)	2.085

Skala model kapal yaitu 1 : 23 sesuai gambar 2, dengan bentuk kapal diasumsikan geladak lurus dari depan ke belakang tanpa *sheer*, tanpa *chamber*, tanpa pagar (*bulwark*) dan tanpa *forecastle* sehingga tidak ada panjang efektif. Model kapal dibalas untuk menyesuaikan sarat, trim, jari-jari girasi secara

memanjang dan melintang dengan menggunakan peralatan keseimbangan (*swinging balance*).



Gambar 2. Model dan Body Plan Kapal

Pengujian dilakukan pada kondisi gelombang irregular, arah gelombang *head seas* (180 derajat) dan *beam sea* (90 derajat) dan menggunakan spektrum gelombang Pierson Moskowitz (Moskowitz, 1964), dengan jumlah gelombang kurang lebih 200, periode puncak dan tinggi gelombang signifikan yang dipakai pada pengujian yaitu $T_p = 8$ detik dan $H_s = 1.3$ m. Untuk kecepatan kapal diasumsikan sebesar 10 knot ($F_n = 0.22$) pada kondisi arah *head seas* dan *beam sea*. Data *wave scatter* perairan Indonesia diperoleh melalui Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika yang disajikan sesuai gambar 3.

Wave scatter data for all port																Probability				
Wave H _s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total	Occurrence	Percentage	Cumulative	Exceedance
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43907	0.14613	14.613%	0.14613	0.85387
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43119	0.14613	27.226%	0.41413	0.58587
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72385	0.25115	25.115%	0.66527	0.33473
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61935	0.18903	18.903%	0.85430	0.14570
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57000	0.11565	11.565%	0.96995	0.03005
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11776	0.04133	4.133%	0.99128	0.00872
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4410	0.01043	1.043%	0.99955	0.00045
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1225	0.00377	0.377%	0.99988	0.00012
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	335	0.00104	0.104%	0.99992	0.00008
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0.00021	0.021%	0.99999	0.00001
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0.00005	0.005%	0.99995	0.00005
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0.00004	0.004%	0.99996	0.00004
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0.00005	0.005%	1.00000	0.00000
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000	0.000%	1.00000	0.00000
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000	0.000%	1.00000	0.00000
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000	0.000%	1.00000	0.00000
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000	0.000%	1.00000	0.00000
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000	0.000%	1.00000	0.00000
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000	0.000%	1.00000	0.00000
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000	0.000%	1.00000	0.00000
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21241	1	100.000%		

Tabel 2. Diagram Scatter Zona Perairan Indonesia

Perhitungan gerakan relatif vertikal dan probabilitas kebasahan geladak diukur pada posisi haluan, tengah dan belakang pada posisi titik A, B dan C sesuai gambar 4 dan tabel 2. Adapun peralatan yang digunakan untuk menangkap gerakan respon kapal secara 2D dan 3D yaitu menggunakan *software Qualisys Track Manager (QTM)*, selanjutnya selama pengujian dilakukan pengambilan rekaman video maupun foto untuk melihat visualisasi gerakan model.



Gambar 3. Lokasi Pengukuran Probabilitas Kebasahan Geladak

Tabel 3. Posisi Titik Kebasahan Geladak

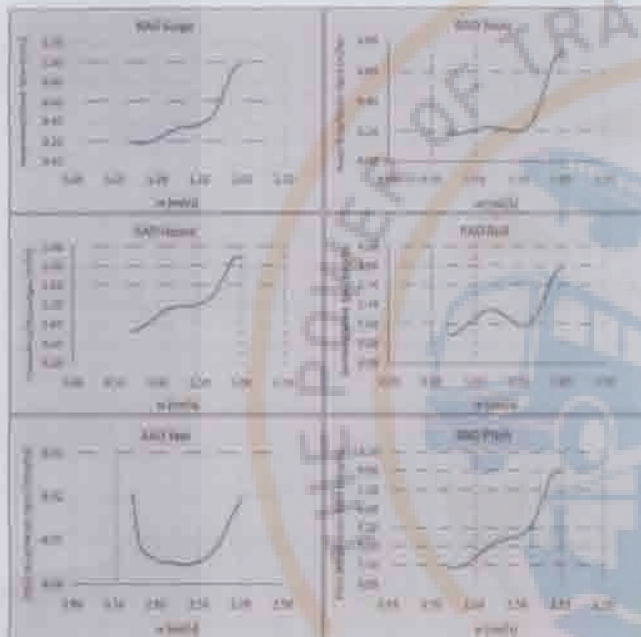
Ord inat	Dari AP (m)	CL ke Starboard (m)	Dari Baseline (m)
A	2.85	3.22	5.55
B	28.33	4.65	5.55
C	53.82	2.34	5.55

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Respon Kapal (RAO)

Hasil pengukuran dalam pengujian disajikan dalam bentuk analisis statistik dan *time traces* yang

menggunakan nilai *significant single amplitude* masing-masing signal. Pada kondisi *head seas* arah 180 derajat yang ditunjukkan pada grafik 1, respon kapal dominan terjadi pada gerakan *pitching* dengan *significant single amplitude* $A_{1/3}$ *pitch* adalah 1.52 derajat dan nilai maksimum *pitch* yaitu mencapai 2.7 derajat. Kondisi *sea state* banyak mempengaruhi gerakan *pitching*, dimana gerakan ini juga berpengaruh terhadap *slamming*, *deck wetness* dan *vertical acceleration*. Berikutnya gerakan *rolling* juga tidak terlalu signifikan dengan *significant single amplitude* $A_{1/3}$ *roll* adalah 1.093 derajat, hal ini umum terjadi pada kapal kondisi *head seas* terhadap gelombang.

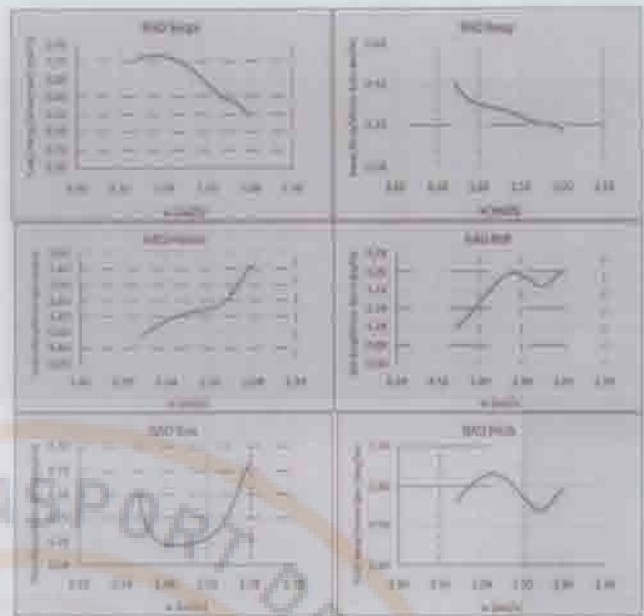


Grafik 1. RAO arah Head Sea 180 derajat

Pada kondisi *beam sea* arah 90 derajat yang ditunjukkan pada grafik 2, respon kapal dominan terjadi pada gerakan *rolling* dengan nilai $A_{1/3}$ *roll* adalah 1.78 derajat. Kondisi ini masih dalam batas keamanan pelayaran kapal. Adapun nilai $A_{1/3}$ *pitch* adalah 0.64 derajat. Berdasarkan kriteria *pitching* menyebutkan bahwa sudut *pitch* pada kapal perang adalah maksimum 3 derajat untuk *significant single amplitude* (Oslo, 1978). Dari nilai yang didapat menunjukkan masih berada jauh dibawah kriteria tersebut, bahkan dari data pengujian nilai maksimum *pitch* hanya mencapai 2.7 derajat.

Probabilitas Kebasahan Geladak (*Deck Wetness*)

Grafik 4 dan 6 menunjukkan probabilitas tinggi haluan terlampaui (*probability exceedance*) akibat gelombang yang datang dan gerakan *pitching*. *Probabilitas exceedance* dihitung dengan membagi jumlah kejadian dalam gelombang irregular dengan



Grafik 2. RAO arah Beam Sea 90 derajat

jumlah gelombang reaksi (*encounter*). Jumlah kejadian dalam gelombang irregular dihitung dari histogram nilai masimum tinggi gelombang yang datang dan sudut *pitch*. Histogram disajikan dalam bentuk distribusi Rayleigh. Sumbu koordinat dibuat secara logaritmik, dengan nilai absis yaitu lambung timbul/tinggi haluan (*bow height*). Visualisasi gerakan ditampilkan sesuai gambar 4.

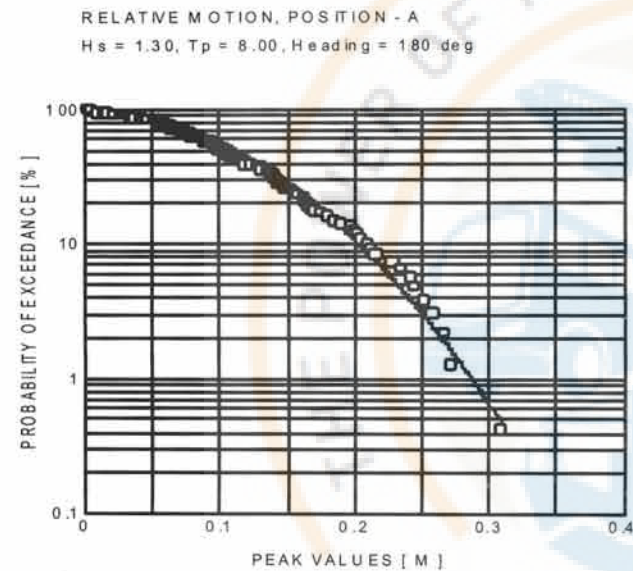


Gambar 4. Visualisasi gerakan model kapal arah head seas dan beam sea

Grafik 4 menunjukkan bahwa pada posisi titik *deck wetness* A yang berada dibelakang (*stern*) kapal, dengan kondisi *head seas* terhadap arah gelombang, maka nilai yang didapat menunjukkan bahwa pada titik *deck wetness* A dengan tinggi lambung timbul

minimum 2.05 meter tidak terjadi kebasahan geladak, dan baru akan terjadi kebasahan geladak pada tinggi lambung timbul 0.32 meter dengan probabilitas *deck wetness* sebesar 0.45 %. Sedangkan nilai maksimum lambung timbul untuk probabilitas *deck wetness* 5% yaitu sebesar 0.23 meter.

Pada posisi titik *deck wetness* B sesuai gambar 8b yang berada di tengah (*midship*) kapal, dengan kondisi arah *head seas* terhadap arah gelombang, maka nilai yang didapat menunjukkan bahwa pada titik *deck wetness* B dengan tinggi lambung timbul minimum 2.05 m tidak terjadi kebasahan geladak, dan baru akan terjadi kebasahan geladak pada tinggi lambung timbul 1.3 m dengan probabilitas kebasahan geladak sebesar 0.35 %. Sedangkan nilai maksimum lambung timbul untuk probabilitas kebasahan geladak 5% yaitu sebesar 0.95 meter.

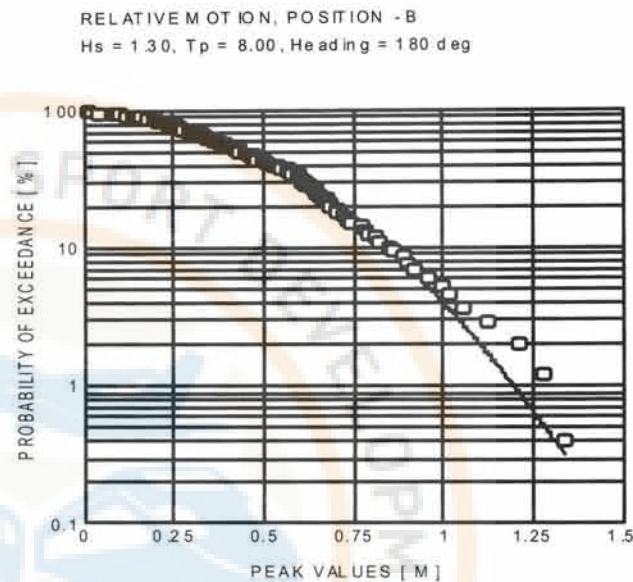


Grafik 4. Probabilitas *exceedance* pada posisi belakang kapal, *stern* (*head seas*)

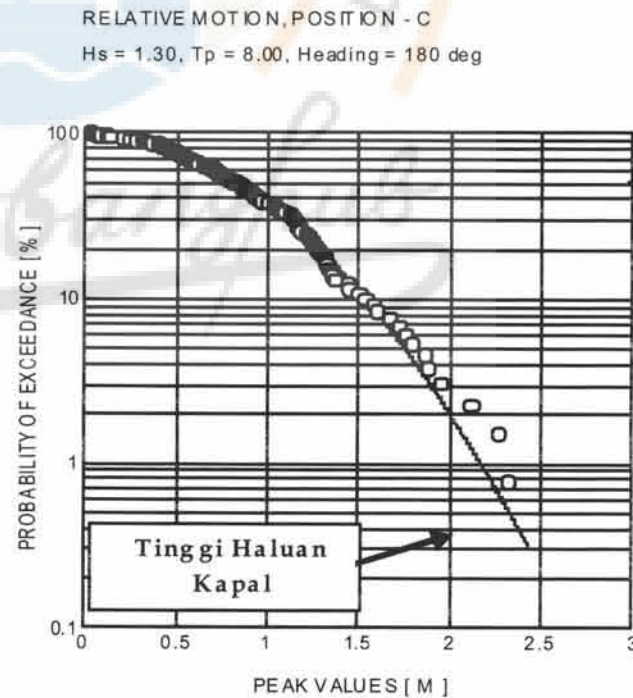
Grafik 6 menunjukkan probabilitas kebasahan geladak pada posisi titik C yang berada di haluan (*stem*) kapal dengan arah *head seas*, dimana terjadi kebasahan geladak untuk tinggi haluan 2.05 m dengan nilai 2%. Nilai probabilitas tersebut masih memenuhi karena berada dibawah kriteria *seakeeping* sebesar 5%. Sehingga tinggi haluan dan lambung timbul minimum masih bisa dinaikkan sesuai dengan batasan kriteria *seakeeping* yaitu probabilitas kebasahan geladak < 5%. Adapun nilai maksimal lambung timbul untuk probabilitas kebasahan geladak 5% yaitu sebesar 1.75 meter.

Probabilitas kebasahan geladak untuk arah *beam sea* ditunjukkan pada grafik 7 dan 9, dimana secara keseluruhan pada semua titik *deck wetness* A, B dan C untuk tinggi lambung timbul 2.05 meter tidak

terjadi kebasahan geladak. Sehingga gerakan relatif vertikal kapal pada arah *beam sea* memenuhi kriteria *seakeeping* khususnya batasan nilai probabilitas kebasahan geladak. Pada posisi titik *deck wetness* A yang berada di belakang (*stern*) kapal, sesuai gambar 10a, mulai terjadi kebasahan geladak pada tinggi lambung timbul 0.95 meter dengan probabilitas kebasahan geladak sebesar 0.13 %. Sedangkan nilai maksimum lambung timbul untuk probabilitas kebasahan geladak 5% sebesar 0.625 meter.

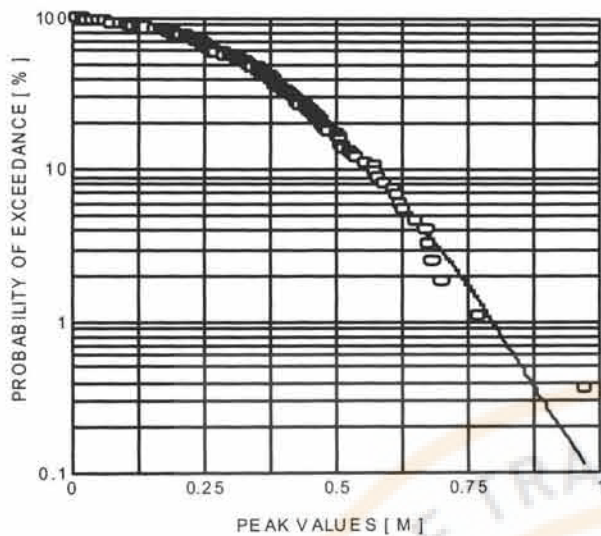


Grafik 5. Probabilitas *exceedance* pada posisi tengah kapal, *midship* (*head seas*)



Grafik 6. Probabilitas *exceedance* pada posisi haluan kapal, *stem* (*head seas*)

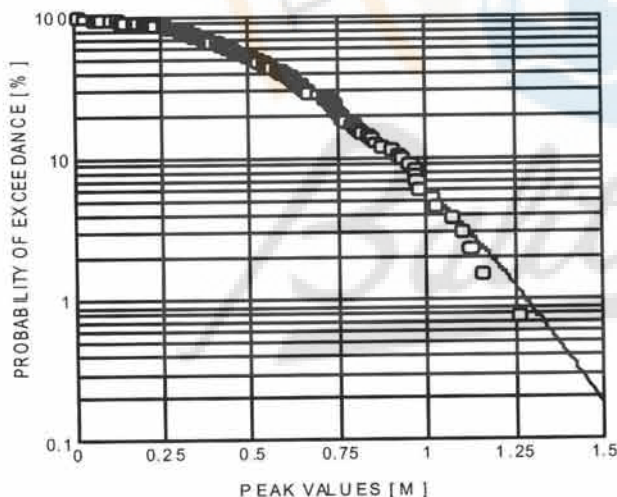
RELATIVE MOTION, POSITION - A
Hs = 1.30, Tp = 8.00, Heading = 90 deg



Grafik 7. Probabilitas *exceedance* pada posisi belakang kapal, *stern* (*beam seas*)

Selanjutnya grafik 8 posisi titik *deck wetness* B yang berada di tengah (*midship*) kapal, mulai terjadi kebasahan geladak pada tinggi lambung timbul 1.5 meter dengan probabilitas kebasahan geladak sebesar 0.2%. Sedangkan nilai maksimum lambung timbul untuk probabilitas kebasahan geladak 5% sebesar 1 meter.

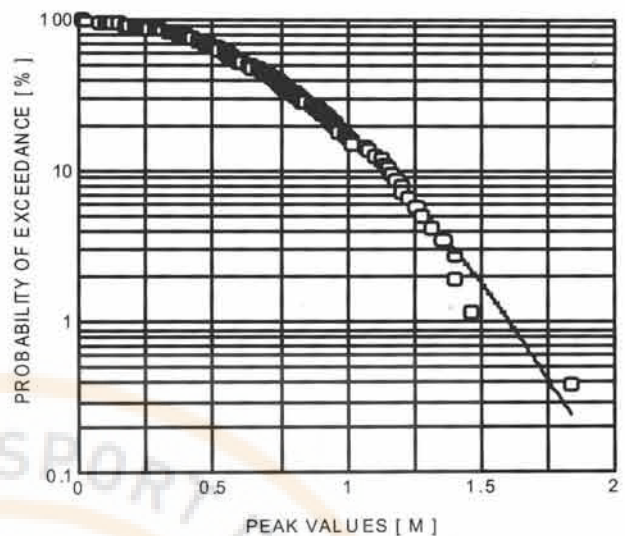
RELATIVE MOTION, POSITION - B
Hs = 1.30, Tp = 8.00, Heading = 90 deg



Grafik 8. Probabilitas *exceedance* pada posisi tengah kapal, *midship* (*beam seas*)

Pada grafik 9 menunjukkan probabilitas kebasahan geladak pada posisi titik *deck wetness* C yang berada di haluan (*stem*) kapal, mulai terjadi kebasahan geladak pada tinggi lambung timbul 1.8 meter dengan probabilitas kebasahan geladak sebesar

RELATIVE MOTION, POSITION - C
Hs = 1.30, Tp = 8.00, Heading = 90 deg



Grafik 9. Probabilitas *exceedance* pada posisi haluan kapal, *stem* (*beam seas*)

0.25%. Sedangkan nilai maksimum lambung timbul untuk probabilitas kebasahan geladak 5% sebesar 1.25 meter.

KESIMPULAN

Probabilitas kebasahan geladak dihitung pada kondisi gelombang irregular menggunakan data *wave scatter* perairan Indonesia dengan nilai periode puncak (T_p) = 8 detik dan tinggi gelombang signifikan (H_s) = 1.3 meter (*sea state 4, moderate*). Secara umum perilaku gerak kapal (sampel uji) masih memenuhi kriteria kenyamanan operasional kapal, pada arah *head seas* $A_{1/3}$ (pitching = 1.52 derajat dan rolling = 1.093 derajat) dan arah *beam sea* $A_{1/3}$ (rolling = 1.78 deg, pitching = 0.64 derajat).

Perubahan sudut hadap (*heading angle*) berpengaruh sangat signifikan, hal ini ditunjukkan dengan nilai probabilitas kebasahan geladak, dimana pada arah *head seas* dengan tinggi lambung timbul dan haluan *existing* sebesar 2.05 meter terjadi kebasahan geladak sebesar 2% pada titik *deck wetness* C, akan tetapi nilai tersebut masih berada dibawah batas aman kriteria *seakeeping* yaitu sebesar 5%, sehingga deviasi atau margin keselamatan masih relatif besar yaitu 60%. Sedangkan untuk arah gelombang *beam sea* dengan tinggi lambung timbul dan haluan yang sama tidak terjadi kebasahan geladak pada semua titik *deck wetness*, sehingga margin keselamatan terhadap kriteria *seakeeping* sangat besar, untuk kriteria yang lain yaitu RMS (standar deviasi) gerakan *rolling* yaitu sebesar 0.842 derajat dan nilai tersebut masih memenuhi karena berada dibawah 6 derajat.

Dari hasil analisa dapat diketahui bahwa setelah adanya kenaikan sarat kapal, maka margin keselamatan berdasar probabilitas kebasahan geladak (*deck wetness*) masih cukup tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Battacharya R, 1978, *Dynamics of Marine Vehicles*, John wiley & sons, Canada.

Biro Klasifikasi Indonesia, 2012, *BKI Ship Register*, 2012, Jakarta.

Departemen Perhubungan, 2005, *Peraturan Menteri (KM) 3 Tahun 2005*, Jakarta.

Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, 2010, *Indonesian Ship Register Year 2010*, Jakarta.

Faltinsen, O.M., 1990, *Sea Loads on Offshore Structures*. Number ISBN 0-521-37285-2, 1990 / ISBN 0-521-45870-6, 1993. University Press, Cambridge, UK.

International Maritime Organization, 2005, *International Convention on Load Line, and Protocol of 1988*,

as amended in 2003, Consolidated Edition, 2005, London.

Journeé J.M.J, Zhu Yonge, de Kat J.O, Vermeer H., 2001, *Joint Development of Bow Height Formula by China and the Netherlands Based on Probabilistic Deck Wetness Analysis*, Delft University of Technology, Technical Report 1270-P, DUT.

JSPS-DGHE Program on Marine Transportation Engineering, 2006, *Collection of Wave Data and Safety of Ships Operating in Indonesian Domestic Seas*, Final Report, Jakarta.

Komite Nasional Keselamatan Transportasi, 2011, *Marine Safety Digest, Improving safety at sea*, Buletin KNKT Departemen Perhubungan, Jakarta.

S.R. Oslon, 1978, *An Evaluation of The Seakeeping Qualities of Naval Combatants*, Naval Engineering Journal, ASNE.

W.J. Pierson and L. Mooskowitz, 1964, *A Proposed Spectral Form For Fully Developed Wind Seas Based on Similarity Theory of S.A Kitaigorodskii*, Journal of Geophysical Research, Vol. 69 No.2

