PREDIKSI PROBABILITAS *DECK WETNESS* AKIBAT PERUBAHAN MASSA KAPAL MELALUI PENGUJIAN MODEL KAPAL

Arifin
Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim - BPPT
Email: *arifinsah03@gmail.com*

ABSTRACT
In the design and operation of an offshore structure, a safety and an economic aspects has become a substantial consideration. And hence, a thorough study on the seakeeping aspects has to be aptly put forward. Generally, a seakeeping study has been carried out extensively world wide, by involving sophisticated mathematical method. In this research, some designs of ship as a function of ship mass variable has been studied to predict happened deck wetness phenomenon. This research activity aims to improve safety aspects of an offshore structure that operating under various wave conditions. A model testing in tank used for determining probability of occurrence of deck wetness. Finally, based on the result of analysis, it was shown that the probability of deck wetness of this ship has fulfilled the probability of deck wetness criteria.

***Keywords** : FPU, Seakeeping Aspects, Model Testing, Wave Conditions, Probability Deck Wetness*

ABSTRAK
Pertimbangan aspek keamanan dan ekonomi pada *Floating Production Unit* (FPU) menjadi pertimbangan utama dalam perencanaan dan pengoperasian struktur bangunan lepas pantai suatu anjungan terapung lepas pantai, sehingga kajian aspek seakeeping harus dilakukan secara menyeluruh. Kajian *Seakeeping* sudah dilakukan menyeluruh di seluruh dunia, terutama dengan menggunakan metode pendekatan matematika. Kajian *deck wetness* ini dilakukan pada beberapa alternatif desain kapal (bangunan lepas pantai) yang memiliki *displacement* yang berbeda. Kajian ini ditujukan untuk memperbaiki aspek keamanan bangunan lepas pantai yang dioperasikan pada berbagai kondisi gelombang. Suatu metode pengujian model dilakukan di tangki uji guna menentukan probabilitas kejadian *deck wetness*. Berdasarkan pada analisis data hasil pemgujian, maka dapat ditentukan probabilitas *deck wetness* dan dibandingkan dengan kriteria Seakeeping yang berlaku. Diketahui bahwa kejadian *deck wetness* kapal tersebut masih berada di bawah batas kriteria probabilitas *deck wetness*.

***Kata Kunci** : FPU, aspek seakeeping, pengujian model, kondisi gelombang, kriteria probabilitas*

PENDAHULUAN

Dalam perencanaan kapal dan anjungan lepas pantai di Indonesia, masalah keselamatan dan efektifitas dianggap perlu mendapat perhatian yang serius dari instansi/lembaga yang berwenang menetapkan kelayakan pengoperasiannya di lautan. Keselamatan yang dimaksudkan di atas meliputi keselamatan penumpang/ABK, muatan, peralatan, serta kapal/anjungan itu sendiri sebagai sarana transportasi/eksplorasi migas yang salah satunya dapat ditentukan dari kinerja seakeeping kapal selama beroperasi di perairan bergelombang. Adapun efektifitas operasional suatu anjungan ditentukan oleh seberapa besar waktu henti operasional (downtime) pada kondisi lingkungan yang cukup ekstrim. Pada kondisi tersebut terkadang terjadi beberapa fenomena yang agak ekstrim, yang dipengaruhi oleh dua faktor penting yaitu perencanaan bentuk lambung dan kondisi lingkungan operasional kapal.

Salah satu alasan yang mendasari dilakukannya kajian ini adalah perlunya suatu penelitian masalah kinerja seakeeping suatu kapal (anjungan lepas pantai) selama pengoperasiannya terutama di perairan Indonesia. Sebagaimana diketahui bahwa permasalahan di kapal atau anjungan lepas pantai muncul ketika kapal beroperasi pada kondisi lingkungan yang cukup ekstrim sehingga memungkinkan terjadinya fenomena *deck wetness* atau bahkan *green water*,[1].

Fenomena naiknya air laut ke atas permukaan geladak kapal dapat mengakibatkan kerusakan terhadap peralatan yang berada di atas geladak, konstruksi kapal/anjungan dan juga muatan kapal.

Dalam pengoperasian kapal niaga, fenomena *deck wetness* biasanya dihindari dengan cara menurunkan kecepatan kapal dan merubah arah sudut gelombang datang,[2].

Dalam kaitannya dengan perencanaan *Flating Production Unit* (FPU) sebagai salah satu sarana eksplorasi migas, maka perlu dilakukan penelitian guna mendapatkan desain yang optimal. Kajian perencanaan bentuk lambung kapal diperlukan untuk mengevaluasi agar respon yang terjadi tidak berlebihan serta memprediksi kemungkinan terjadinya fenomena *deck wetness* selama pengoperasiannya. Besaran dan frekuensi kejadian fenomena *deck wetness* sangat mempengaruhi tingkat efektifitas operasional dan keselamatan anjungan lepas pantai.

Saat ini, ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk memprediksi fenomena *deck wetness* seperti perhitungan analitik, pendekatan numerik serta pengujian model. Dalam perhitungan analitik maupun pendekatan numerik banyak digunakan asumsi-asumsi untuk menyederhanakan permasalahan sehingga memungkinkan diperolehnya penyelesaian masalah.
Untuk kapal-kapal biasa, [3] telah melakukan analisa probabilitas untuk memprediksi probabilitas *deck wetness* berdasarkan tinggi *freeboard* dan gerakan relatif antara haluan kapal dan gelombang. Adapun pengujian model kapal untuk menentukan probabilitas *deck wetness* pada berbagai kecepatan kapal dan tinggi gelombang telah dilakukan oleh [4]. Adapun untuk struktur anjungan lepas pantai jenis FPU, penulis menganggap perlu dilakukan kajian menggunakan metode pengujian model untuk mendapatkan data-data yang akan digunakan untuk memprediksi fenomena *deck wetness*.

Kegiatan penelitian yang dilakukan meliputi pelaksanaan pengujian model kapal di tangki uji. Pengujian model dilakukan pada kondisi air bergelombang terutama gelombang acak (irregular wave) dengan tinggi dan frekuensi gelombang dan arah gelombang datang yang berbeda-beda.

Sebagai tujuan akhir penelitian ini, dilakukan kajian probabilitas kejadian *deck wetness* dari beberapa pilihan desain kapal sebagai fungsi massa kapal pada beberapa sudut *heading* serta kondisi lingkungan tertentu. Hasil analisis yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan kriteria seakeeping yang diberikan oleh beberapa peneliti/institusi yang digunakan di dunia saat ini. Dengan penelitian ini diharapkan dapat diperoleh suatu gambaran kinerja seakeeping FPU guna menunjang kinerja peralatan produksi dan kenyamanan anak buah kapal serta keselamatan kapal itu sendiri sebagai sarana eksplorasi migas.

TINJAUAN PUSTAKA

Sebagaimana disinggung dalam bab di atas bahwa probabilitas *deck wetness* dipengaruhi oleh besaran *relative motion* yang terjadi di sekitar badan kapal yang berbatasan dengan permukaan air. Pada umumnya *relative motion* terbesar terjadi di ujung-ujung kapal seperti daerah buritan dan haluan kapal. Pada kondisi kapal berlayar di perairan dengan gelombang yang cukup tinggi maka kondisi ini memungkinkan terjadinya fenomena *deck wetness*. Secara matematis, *relative motion* dapat dituliskan sebagai berikut,[5].

$$r_3 = s_3 - \zeta \quad (1)$$

$$s_i = s_{i0} \sin(\omega_e t + \delta_{si}) \quad (2)$$

$$\zeta = \zeta_0 \sin(\omega_e t - Q) \quad (3)$$

dimana:

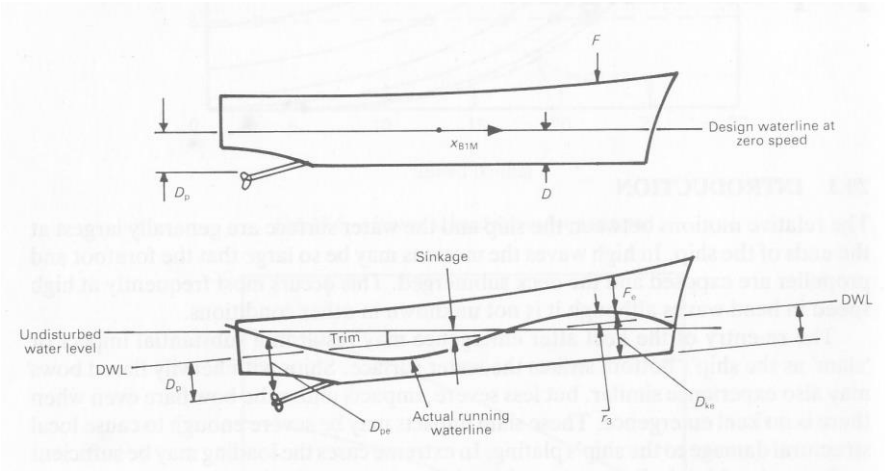
s_3 : gerakan vertikal absolut

ζ : elevasi gelombang setempat

Substitusi persamaan (2) dan (3) kedalam persamaan (1) maka akan diperoleh persamaan berikut:

$$r_3 = r_{30} \sin(\omega_e t + \delta_{r_3}) \quad (4)$$

Gambaran *relative motion* dalam kaitan dengan sarat lokal ujung baling-baling serta *freeboard* kapal ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar. 1. *Relative Motion*

Berdasarkan ilustrasi di atas dapatlah dipahami bahwa bilamana *relative motion* yang terjadi melampaui *freeboard* kapal atau sarat lokal lainnya, maka akan terjadi fenomena *freeboard exceedance*. Pada kondisi cuaca yang buruk, terlebih bilamana diperparah oleh desain bentuk lambung kapal yang kurang baik maka sangat dimungkinkan terjadinya fenomena *deck wetness* yang ditandai dengan naiknya air laut ke atas geladak. Hal ini sudah barang tentu membahayakan keselamatan ABK, muatan maupun kapal itu sendiri.
Prediksi frekuensi kejadian fenomena di atas secara akurat dianggap masih sulit dilakukan. Salah satu pendekatan analitik dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_{ds} = \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{F_e^2}{C_s^2 m_0} \right) \quad (5)$$

dimana:
F_e : *freeboard* kapal
C_s : koefisien sebagai fungsi bentuk lambung kapal, lokasi di kapal, kecepatan dan panjang gelombang.
m_0 : *variance relative motion*
Pengujian model di kolam uji merupakan alternatif yang dapat dilakukan untuk memprediksi berbagai fenomena ekstrim seperti *deck wetness*, *propeller racing* dan *slamming*.

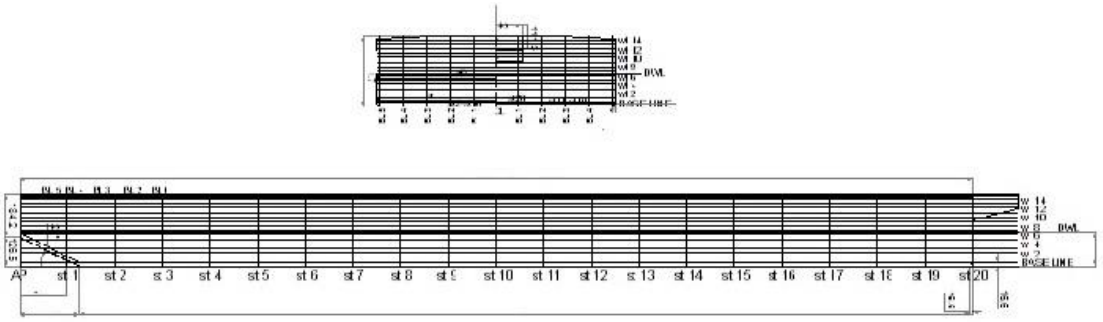
METODE

Pengujian Model

Model yang digunakan dalam pengujian ini dibuat dengan menggunakan metoda laminasi yaitu badan kapal dibuat dari lembaran kecil-kecil kayu yang disusun membentuk badan kapal, yang selanjutnya dilapis dengan *fiberglass*. Adapun skala model yang digunakan adalah 1:51,5. Ukuran utama dan geometri kapal yang digunakan ditunjukkan oleh Tabel 1 dan Gambar 2 sebagai berikut:

Tabel 1. Ukuran Utama

MAIN DIMENSION	UNIT	MC_3		MC_4	
		FULL SCALE	MODEL	FULL SCALE	MODEL
LENGTH (LPP)	m	206	4.000	196	3.800
BREADTH (B)	m	52	1.010	52	1.010
FORE DRAFT (TF)	m	7.8	0.151	7.8	0.151
AFT DRAFT (TA)	m	7.8	0.151	7.8	0.151
DISPLACEMENT (Δ)	MT	83185	0.594	79023	0.578
Kxx	m	18.16	0.353	18.16	0.353
Kyy	m	51.89	1.008	49.37	0.959
Kzz	m	52.12	1.012	52.12	1.012



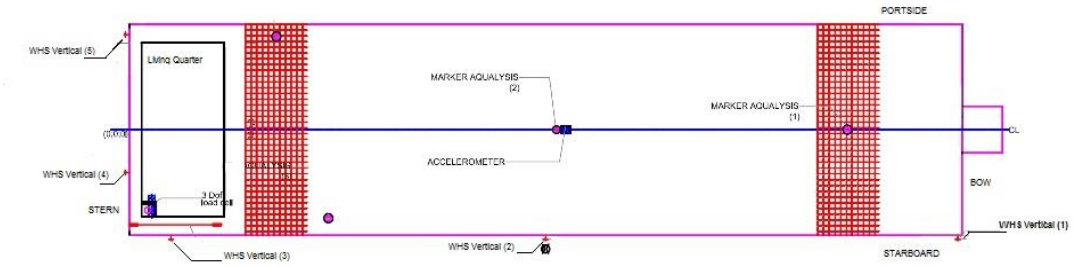
Gambar 2. *Body Plan* Kapal

Sebelum dilakukan pengujian model di tangki uji, maka perlu dilakukan pengaturan tinggi titik berat, titik metasenter dan jari-jari inersia kapal sesuai dengan kondisi kapal sebenarnya.

Instrumentasi

Beberapa instrumentasi (alat ukur) yang digunakan dalam pengujian ini terdiri atas:

- *Wave Height Sensor* (WHS)
  Elevasi permukaan gelombang diukur dengan menggunakan WHS yang dipasang di kapal pada titik yang ditinjau.
- *Accelerometer*
  Digunakan untuk mengukur percepatan gerakan yang terjadi pada posisi tertentu di kapal yang dianggap penting untuk di analisis.
- *Aqualysis*
  Merupakan peralatan yang bekerja berdasarkan prinsip optical *tracking system* yang digunakan sebagai alat pengukur gerakan kapal dalam 6 derajat kebebasan yang terjadi selama tahapan pengujian model.

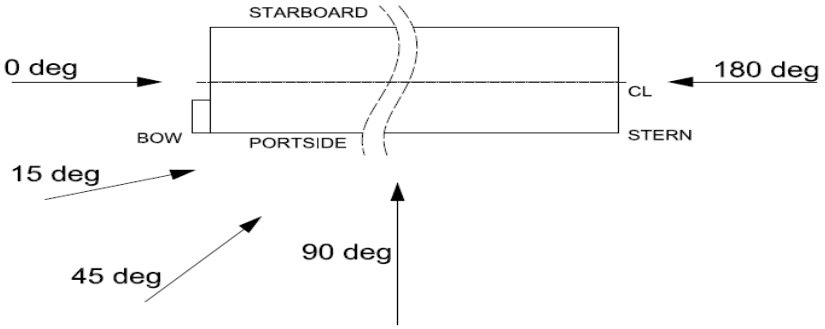


Gambar 3. Lokasi *Wave Probe* dan *Aqualysis*

Kondisi Pengujian

Beberapa kondisi lingkungan laut yang perlu disimulasikan dalam pengujian untuk menentukan *performance seakeeping* melalui analisis *relative motion* yang terjadi di kapal di antaranya adalah:

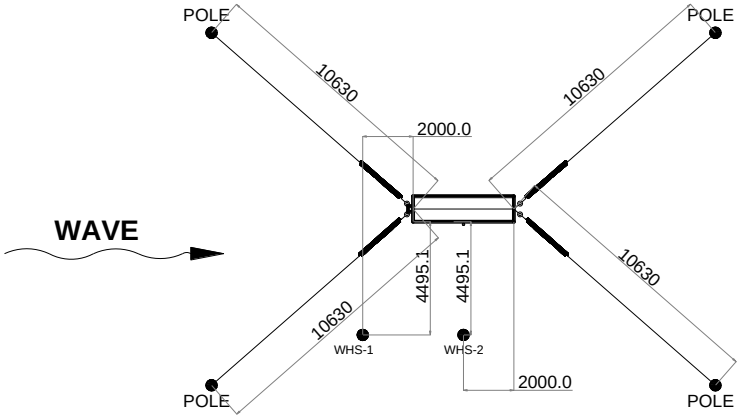
- Kondisi gelombang laut
  Kondisi gelombang yang digunakan dalam pengujian ini adalah gelombang acak (irregular) dengan karakteritik sebagai berikut:
  - Hs_1=2.4m ; Tp_1=6.6s (spektrum 01)
  - Hs_2=4.3m ; Tp_2=8.9s (spektrum 02)
- Sudut *heading* kapal
  Sudut *heading* didefinisikan sebagai sudut antara gelombang datang dengan kapal. Sudut heading kapal yang dianalisis dalam pengujian ini adalah 45^0 , 90^0 (lihat Gambar 4)



Gambar 4. Definisi Sudut *Heading*

***Se-tup* Pengujian**

Set-up pengujian model ditunjukkan oleh Gambar 5 berikut.

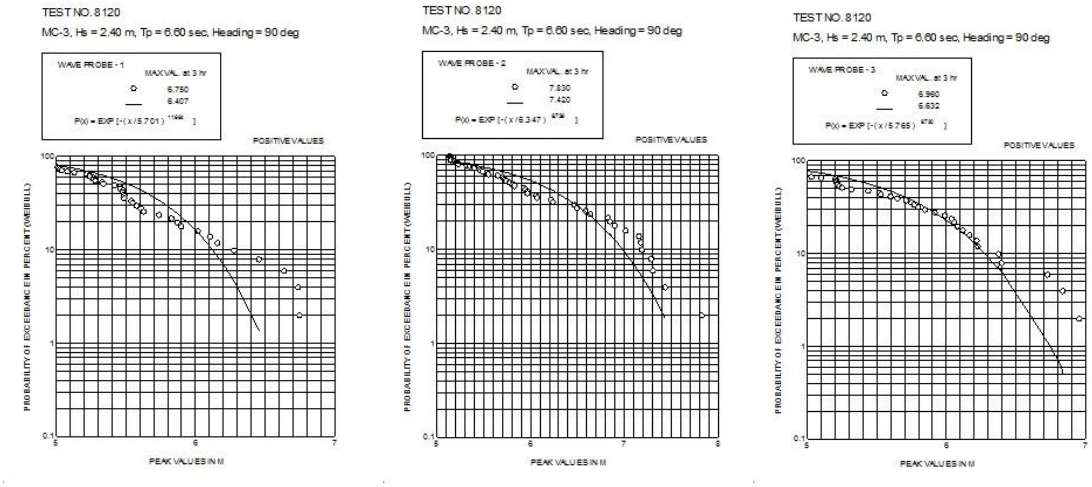


Gambar 5. *Set-up* Pengujian Model

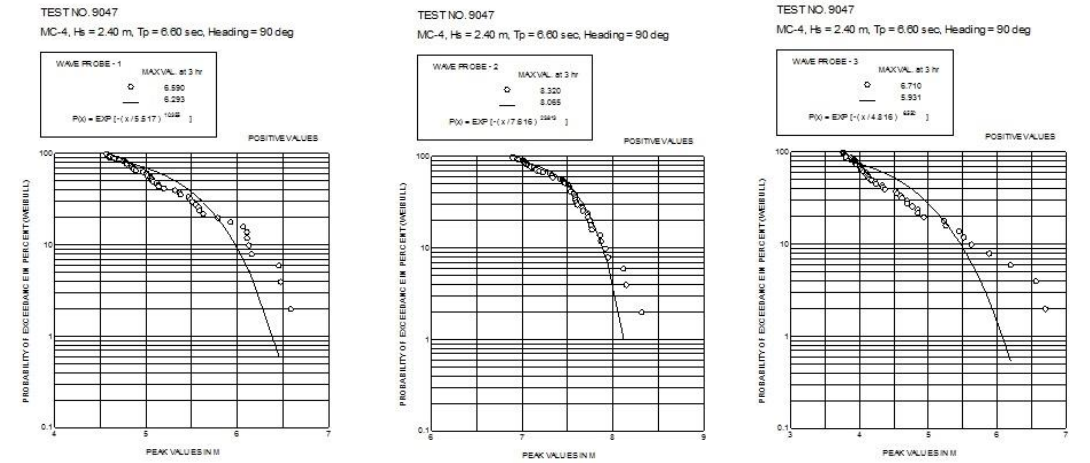
Satu hal penting yang juga memegang peranan penting dalam pengujian model kapal adalah data akuisisi yaitu proses perekaman data dan analisis sehingga diperoleh data keluaran sebagaimana yang direncanakan. Data pengukuran dalam bentuk analog terlebih dahulu diubah menjadi bentuk digital, kemudian diubah menjadi data berbasis frekuensi dengan menggunakan program *Transformasi Fast Fourier* (FFT). Pada akhirnya diperoleh data-data pengujian sebagaimana yang direncanakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

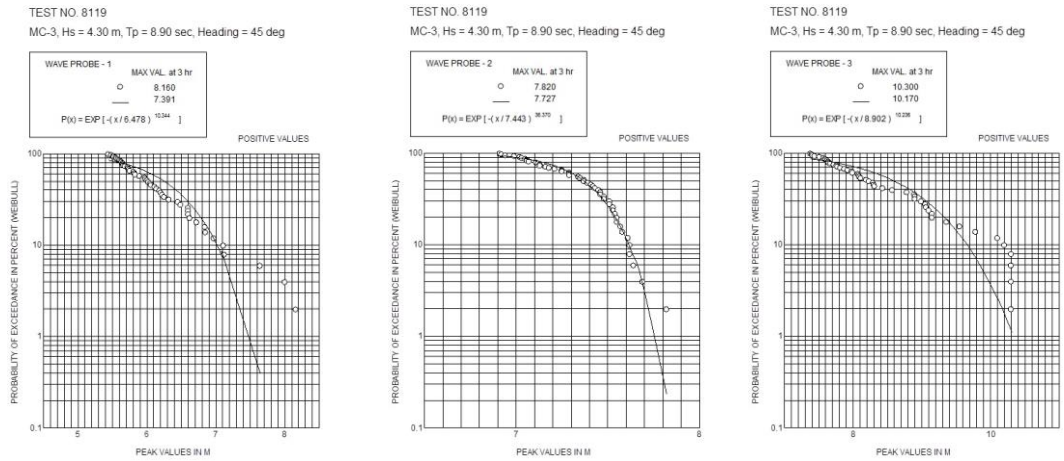
Berdasarkan hasil-hasil pengujian yang telah dilakukan sebagaimana dijelaskan di atas, maka dibuat grafik probabilitas untuk setiap lokasi di kapal yang ditinjau. Selain itu, nilai probabilitas kejadian dibuat untuk setiap kondisi gelombang yang dianalisis. Grafik probabilitas kejadian *deck wetness* ditunjukkan oleh Gambar 7 - 10 berikut.



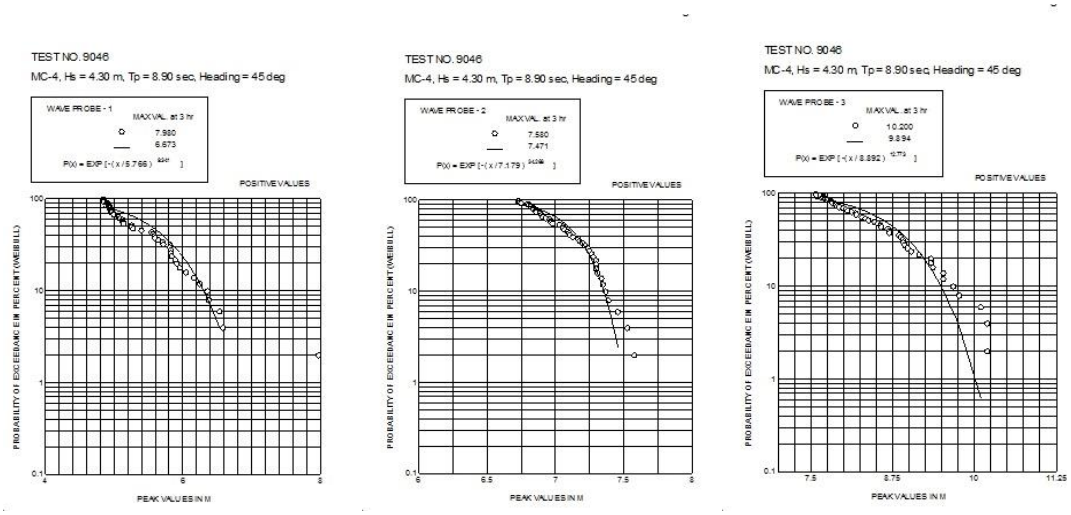
Gambar 7. Probabilitas *Deck Wetness* Kondisi MC3
Pada Posisi yang Berbeda; Spektrum 01, *Heading* 90 derajat



Gambar 8. Probabilitas *Deck Wetness* Kondisi MC4
Pada Posisi yang Berbeda; Spektrum 01, *Heading* 90 derajat



Gambar 9. Probabilitas *Deck Wetness* Kondisi MC3
Pada Posisi yang Berbeda; Spektrum 02, *Heading* 45 derajat



Gambar 10. Probabilitas *Deck Wetness* Kondisi MC4
Pada Posisi yang Berbeda; Spektrum 02, *Heading* 45 derajat

Dari Gambar 7 dan 8 yaitu pada kondisi lingkungan (spektrum 01 dan sudut *heading* 90 derajat) yang sama terlihat bahwa pada lokasi di bagian ujung-ujung kapal (haluan dan buritan), kondisi massa kapal MC3 mempunyai probabilitas *deck wetness* yang relatif lebih besar dibandingkan dengan kondisi massa MC4. Demikian sebaliknya untuk lokasi di tengah kapal.
Adapun Gambar 9 dan 10 menunjukkan bahwa pada kondisi lingkungan (spektrum 02 dan sudut *heading* 45 derajat) yang sama terlihat bahwa pada semua lokasi di kapal, kondisi massa kapal MC3 mempunyai probabilitas *deck wetness* yang relatif lebih besar dibandingkan dengan kondisi massa MC4.
Pada kondisi lingkungan spektrum 01 dan sudut *wave heading* 90 derajat, diketahui bahwa pada gelombang tersebut probabilitas *deck wetness* yang terjadi di lokasi 1 dan 3 kurang dari 2%. Sedangkan pada lokasi 2, menunjukkan probabilitas *deck wetness* mendekati angka 20%.
Adapun pada kondisi lingkungan spektrum 02 dan sudut *wave heading* 45 derajat, diketahui bahwa pada gelombang tersebut probabilitas *deck wetness* yang terjadi di lokasi 1 dan 2 kurang dari 1%. Sedangkan pada lokasi 3, menunjukkan probabilitas *deck wetness* mendekati angka 20%.
Salah satu kriteria *seakeeping* diberikan oleh beberapa orang/institusi, khususnya yang terkait dengan probabilitas *deck wetness*, di antaranya adalah Ochi dan Motter (1974), [6] yang mensyaratkan probabilitas *deck wetness* harus lebih kecil dari 7%.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis di atas maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi massa kapal (MC3) dengan *displacement* yang lebih besar akan memberikan probabilitas *deck wetness* yang lebih besar dibanding MC4 pada kondisi lingkungan yang sama.
2. Secara umum dapat dinyatakan bahwa probabilitas *deck wetness* yang terjadi pada kedua kondisi massa kapal (MC3 dan MC4) masih berada di bawah kriteria *deck wetness*. Akan tetapi, pada kondisi gelombang tertentu (peak value) probabilitasnya masih cukup besar.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Nielsen, K.B., "*Numerical Prediction of Green Water Loads on Ships*", Technical University of Denmark, 2003.
[2] Tan, S.G., "*Observations Made on Board Dutch Merchant Ships*", International Ship Building Progress, vol. 16. (181): p. 259-276, 1969.

[3] Ochi M.K., "*Extreme Behavior of a Ship in Rough Seas*". Annual Meeting of the Society of Naval Architecs and Marine Engineers, page 143-202, 1964.
[4] Hamoudi, Varyani, "*Significant Load and Green Water on Deck of Offshore Units/Vessels*". Ocean Engineering, vol. 25 (8): page 715-731, 1998.
[5] Lloyd, ARJM. *" Seakeeping Ship Behaviour in Rough Weather"* , Ellis Horwood Limited, 1989.
[6] Walden D., Grundmann P., '*Methods for Designing Hull Forms with Reduced Motions and Dry Decks'*, Naval Engineer Journal, 1985.