

KAJIAN PENAMBAHAN *BILGE KEEL* TERHADAP GERAK OLENG KAPAL KONTAINER TIPE *SMALL FEEDER*

Ahmad Syafiul Mujahid¹

Balai Teknologi Hidrodinamika - BPPT, Surabaya

*ahmadsmujahid@gmail.com*¹

Abstrak

Tol laut merupakan salah satu dari kebijakan Pemerintah Indonesia yang berorientasi pada kemandirian dan kedaulatan di sektor maritim sehingga dibutuhkan armada kapal yang memadai. Satu armada kapal yang dibutuhkan adalah Kapal Kontainer. Kapal Kontainer dalam studi ini merupakan tipe pengumpan dengan katagori kapasitas kelas *small feeder* dengan panjang (Lpp) = 74 m, Lebar (B)= 17 m, dan Sarat (T) = 3 m. Jalur pelayaran yang direncanakan akan melewati wilayah perairan dengan gelombang tinggi pada 6 Skala Beaufort, sehingga apabila gelombang datang dari arah samping (*beamsea*) maka dikhawatirkan kapal akan mengalami oleng cukup besar yang dapat berdampak pada keselamatan kapal. Perencanaan penambahan penggunaan *bilge keel* (lunas bilga) pada Kapal Kontainer diharapkan bisa menjadi *roll damping system* yang cukup efektif untuk mengurangi sudut oleng (*roll*) kapal. Dengan menggunakan simulasi numerik menggunakan metode panel yang divalidasi dengan hasil pengujian, maka diperoleh hasil pengurangan gerak oleng (*roll*) pada Kapal Kontainer sebesar 20% untuk kondisi 6 Skala Beaufort..

Kata Kunci: Kapal Kontainer, Simulasi Numerik, lunas bilga.

Abstract

Tol laut is one of Indonesian Government Policy that are oriented to independence and sovereignty in the maritime sector so that an adequate fleet is needed. One of the fleet needed is container ship. The container ship in this study is Pengumpan type with the catagory of small feeder class capacity, With Length (Lpp) = 74 m, Breadth (B) = 17 m, and Draft (T) = 3 m. The planned shipping line will pass through the sea in high waves on 6 Beaufort Scale, so that if the wave comes from beam sea, it is feared that the ship will experience a bigger roll that can affect the safety of the ship. Planning to add bilge keel usage in Container ship is expected to be a roll damping system that is effective enough to decrease roll angle of Container Ship. By using the numerical simulation based on panel metode that validated by testing result, then the roll angle reduction results on Container Ship are 20% for the condition of the 6 Beaufort Scale.

Keywords: Container Ship, Numerical Simulation, bilge keel.

1. PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan negara kepulauan dimana sekitar lebih dari 70% distribusi barang secara domestik dilakukan melalui jalur laut. Sebagaimana arah kebijakan Pemerintah Indonesia berupa program tol laut yang berorientasi pada kemandirian dan kedaulatan di sektor maritim maka diperlukan adanya armada kapal yang memadai sehingga nantinya mampu mendorong pemerataan pembangunan, meningkatkan konektivitas antar pulau dan kelancaran distribusi logistik nasional secara efektif.

Kapal Kontainer dalam studi ini merupakan tipe pengumpan dengan katagori kapasitas kelas *small feeder*, dimana jenis kapal ini sedang digalakkan pembangunannya oleh pemerintah. Kapal Kontainer ini diharapkan

dapat merealisasikan salah satu dari program pemerintah dalam pemerataan dan melancarkan distribusi logistik nasional. Alur pelayaran yang dilalui oleh Kapal Kontainer ini menjangkau dari barat hingga timur pulau di Indoneisa, menyinggahi 24 pelabuhan strategis pendukung tol laut serta beberapa pelabuhan perintis, bahkan menjangkau hingga ke daerah terpencil sehingga menjadikan kapal kontainer ini nantinya akan dioperasikan melewati berbagai wilayah laut di Indonesia dari wilayah laut dengan gelombang tenang hingga wilayah laut dengan tinggi gelombang yang mencapai nilai 6 Skala *Beaufort*. Tentunya pada kondisi perairan tersebut kapal dituntut untuk dapat berlayar pada gelombang yang tinggi yang akan mempengaruhi kehandalan kapal. Dikhawatirkan kapal akan mengalami gerak *rolling* yang tinggi saat kapal

melintasi perairan dengan gelombang tinggi, dimana semakin tinggi gerak *rolling* / oleng maka dapat berakibat pada berkurangnya stabilitas kapal dan kehandalan kapal yang menyebabkan kapal dapat menjadi berbahaya bagi awak maupun barang yang dibawa. Insiden Kapal Kontainer akibat gelombang tinggi pernah terjadi pada Kapal Kontainer Rena milik Mediteranian *Shipping Company* pada tahun 2011 seperti pada Gambar 1 di bawah ini.



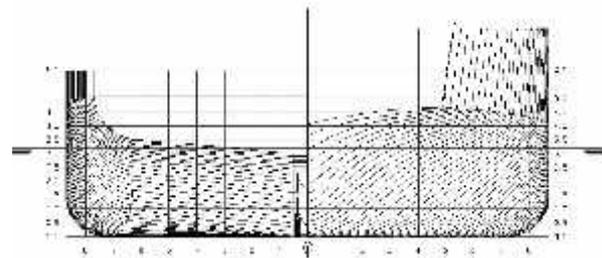
Gambar 1. Insiden kapal kontainer
Sumber: website di [5]

Tentunya nilai investasi yang sangat besar bagi sebuah kapal maupun barang yang dibawa menjadi pertimbangan penting, sehingga perhitungan yang cermat serta prediksi operasional yang tepat pada Kapal Kontainer tersebut mutlak harus dilakukan. Untuk mengantisipasi bahaya yang tidak diinginkan tersebut, maka diperlukan adanya pertimbangan dalam perencanaan untuk menambahkan komponen *bilge keel* pada kapal kontainer ini. *Bilge keel* adalah *roll damping system* yang merupakan perangkat tambahan yang dipasang pada lambung kapal yang terletak pada bagian bilga kapal, tujuan dari pemasangan *bilge keel* ini adalah diharapkan komponen ini dapat menjaga stabilitas kapal ketika terjadi oleng atau *rolling* serta digunakan untuk mengurangi pengaruh gerakan *roll* pada kapal.

Beberapa penelitian terdahulu terhadap kapal kontainer maupun *roll damping system* antara lain: kapal *Self Propelled Container Barge* sarat rendah terhadap aspek hidrodinamika pada kapal tersebut dengan

menggunakan metode pengujian[1]. Mendesain penggunaan *bilge keel* pada kapal *bulk carrier* sarat rendah memperlihatkan hasil pemasangan *bilge keel* yang cukup signifikan pada pengurangan gerak *rolling* saat kapal beroperasi pada gelombang tinggi[4]. Sudut kemiringan *fin stabilizer* yang paling optimum terhadap pengaruh gerak *rolling* pada Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT[7]. Stabilitas Kapal Perintis 500 DWT pada penambahan variasi posisi sudut dan lebar *bilga keel*[12].

Pada penelitian ini, objek penelitian yang dilakukan adalah Kapal Kontainer tipe pengumpan kelas small feeder yang dapat membawa muatan penuh 100 TEUs yang dilengkapi dengan *crane*. Gambar rencana garis Kapal Kontainer ditampilkan pada Gambar 2 sedangkan data Kapal Kontainer ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Rencana garis Kapal Kontainer

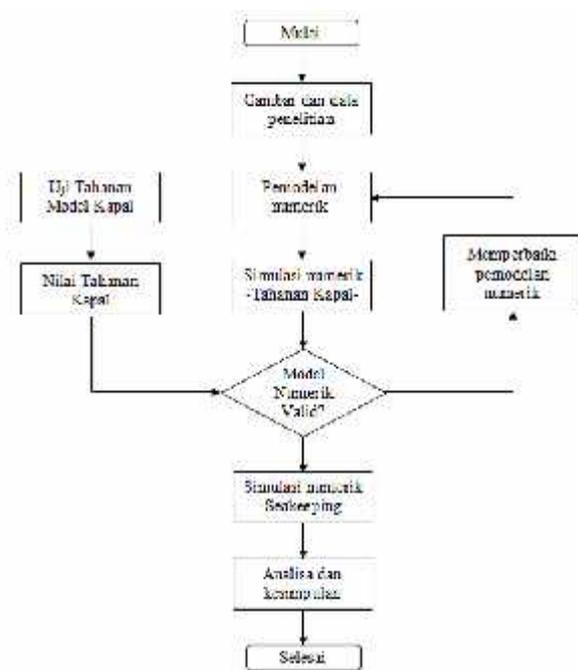
Tabel 1. Data dimensi Kapal Kontainer

Parameter	Nilai	Satuan
Displacement ()	2990	ton
Length (Lpp)	74	m
Breadth (B)	17	m
Draft (D)	3	m
Water Density	1025	Ton/m ³
VCG	1.57	m
LCG	36.6	m
Skala	01:18.7	

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi numerik untuk mendapatkan respons gerak kapal, dimana pemodelan numerik akan dilakukan proses

simulasi numerik untuk mendapatkan nilai tahanan kapal, kemudian nilai tahanan kapal dari proses numerik tadi akan divalidasi dengan hasil pengujian tahanan yang telah dilakukan. Kemudian apabila hasil simulasi numerik menunjukkan nilai validitas yang baik, maka dapat dinyatakan bahwa pemodelan numerik yang dilakukan sudah benar. Selanjutnya pemodelan numerik akan digunakan untuk menganalisa respon gerak kapal dengan menggunakan simulasi numerik. Diagram alir proses pengerjaan penelitian ini ditampilkan pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Simulasi numerik merupakan tiruan pengujian yang dilakukan berdasarkan persamaan-persamaan matematis yang dihitung dengan menggunakan metode numerik dalam sebuah perangkat komputer. Simulasi numerik banyak digunakan terutama apabila tidak dapat dilakukan pengujian langsung di laboratorium terhadap objek penelitian, atau hendak meneliti suatu objek yang tidak mudah apabila dilakukan suatu pengujian.

Kemampuan simulasi numerik dengan menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dapat menyelesaikan

problem yang kompleks yang tidak dapat dihasilkan melalui eksperimen. CFD juga mampu memberikan akurasi hasil yang mengagumkan dan biaya investasi awal dan operasional yang jauh lebih murah dibandingkan dengan penggunaan kolam uji dengan tingkat akurasi tinggi. CFD telah direkomendasikan oleh ITTC sebagai bagian dari diagram spiral perancangan kapal. Kenunggulan menggunakan CFD antara lain pengurangan waktu dan biaya desain yang signifikan, kemampuan untuk mempelajari sistem dimana sangat sulit atau bahkan tidak mungkin untuk dapat dilakukan secara eksperimen terkontrol dan bisa memberikan informasi keluaran hasil eksperimen yang tidak terbatas [11].

Tahanan (hambatan) Kapal

Gaya tahanan kapal sangat berhubungan erat dengan daya mesin (EHP) yang akan digunakan, perhitungan numerik dan hasil pengujian *resistance* (tahanan) kapal digunakan sebagai validasi dari pemodelan numerik yang telah dilakukan, dimana nilai hasil pengujian dengan numerik tidak lebih dari 5%. Untuk perhitungan nilai tahanan kapal kontainer tipe *small feeder* pada simulasi numerik yang dilakukan adalah perhitungan menggunakan Metode Holtrop, alasan dipilihnya Metode Holtrop karena metode ini lebih tepat digunakan untuk bentuk badan kapal dengan nilai *coefficient block* (C_b) yang besar. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini memiliki algoritma Metode Holtrop yang dirancang untuk memprediksi *resistance* dari kapal-kapal: Tanker, General Cargo, Kapal Kontainer dan Tugboat [3].



Gambar 4. Pengujian hambatan kapal kontainer

Persamaan Matematis yang digunakan untuk menghitung nilai hambatan total dari satu kapal adalah sebagai berikut [9]:

$$R_t = \frac{1}{2} \cdot WSA \cdot v^2 \cdot \dots \cdot c_t \tag{1}$$

dimana:

- R_t = Hambatan total [N]
- WSA = *Wetted Surface area* [m²]
- v = Kecepatan kapal [m/s]
- ρ = Massa jenis air laut [1025 kg/m³]
- C_t = Koefisien hambatan total kapal

Simulasi Numerik Gerak Kapal

Salah satu gerakan kapal yang sangat penting untuk diperhatikan adalah gerak oleng atau *roll*, karena gerak tersebut erat hubungannya dengan stabilitas kapal. Simulasi numerik gerak kapal yang dilakukan menggunakan persamaan matematis berupa persamaan gerak di bawah ini:

$$I_{xx} \frac{d^2\theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} + c\theta = M_{\theta}(\omega_e) \tag{2}$$

Gerakan *roll* diperoleh dengan menggunakan nilai RAO yang dihitung dari simulasi numerik. Nilai RAO atau *Transfer Function* dari gerak *roll* ini dapat dihitung dengan mengambil rasio antara spektral density dari gerakan *roll* dan spektral density gelombang ke setiap gelombang frekuensi pertemuan. Rumus umum untuk RAO dapat direpresentasikan

sebagai berikut [10]:

$$H_{\theta} = \frac{u_{\theta}(\omega_e)}{\zeta_{\theta}(\omega_e)} = \sqrt{\frac{S_{\theta\theta}(\omega_e)}{S_{\zeta\zeta}(\omega_e)}} \tag{3}$$

dimana

- H_{θ} = Fungsi Respon gerak roll
- $U_{\theta}(\omega_e)$ = Frekuensi amplitudo ω_e sinyal θ ,
- $\zeta_{\theta}(\omega_e)$ = Frekuensi amplitudo ω_e elevasi gelombang
- $S_{\theta\theta}(\omega_e)$ = spectral density sinyal θ ,
- $S_{\zeta\zeta}(\omega_e)$ = spectral density elevasi Gelombang ζ .

Spektrum gelombang yang digunakan dalam simulasi ini adalah menggunakan jenis spektrum JONSWAP. Rumus spektrum ditampilkan pada persamaan di bawah ini [2]:

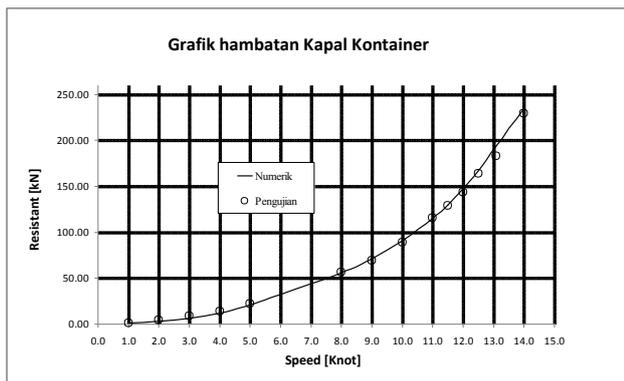
$$S_{JONSWAP}(\omega) = 0.658 S_{ITTC}(\omega) C(\omega) \tag{4}$$

Dimana

$$S_{ITTC}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega}\right) \tag{5}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian hambatan model kapal kontainer tipe *small feeder* telah selesai dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia BPPT seperti pada Gambar 4 di atas. Kemudian dari hasil pengujian tersebut dilakukan proses perhitungan menggunakan metode ekstrapolasi sesuai dengan ketentuan ITTC 1957 (*International Towing Tank Conference*) untuk mendapatkan nilai hambatan kapal kontainer yang sesungguhnya, kemudian dari nilai tersebut dijadikan sebagai validasi untuk hasil perhitungan hambatan dengan menggunakan simulasi numerik kapal kontainer tipe *small feeder*. Hasil tersebut ditunjukkan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Grafik hambatan Kapal Kontainer tipe *small feeder*

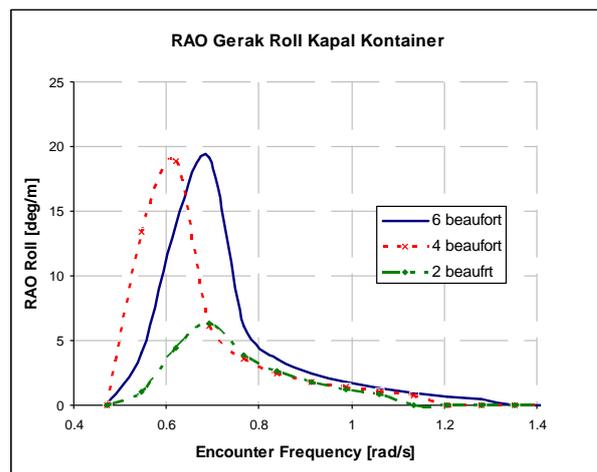
Gambar 5 memperlihatkan nilai hambatan kapal kontainer hasil pengolahan dari pengujian tarik dan numerik memiliki kemiripan dengan margin *error* di bawah 5%. Dengan demikian apabila margin *error* hasil simulasi numerik (*Computational Fluid Dynamics*) terhadap hasil pengujian kurang dari 5% menunjukkan bahwa pemodelan numerik dapat dikatakan masih dalam batas baik atau dapat diakui [11].

Kemudian simulasi numerik *seakeeping* pada kapal kontainer dilakukan dengan menggunakan geometri pemodelan numerik yang sudah benar. Pada simulasi numerik ini, kapal kontainer belum menggunakan *blige keel*. Data-data yang digunakan dalam simulasi numerik ini ditampilkan pada Tabel 2 berikut ini

Tabel 2. Data input simulasi numerik *seakeeping*

No	Parameter	Keterangan
1	Gelombang 2 Beaufort	Hs = 1 m, T = 6.262 s
2	Gelombang 4 Beaufort	Hs = 2 m, T = 7.348 s
3	Gelombang 6 Beaufort	Hs = 4 m, T = 8.099 s
4	Jari-Jari Girasi Roll	0.4 x Breadth Kapal
5	Jari-Jari Girasi Pitch	0.24 x Length Over All Kapal
6	Jari-Jari Girasi Yaw	0.24 x Length Over All Kapal
7	VCG	5.3 m
8	Massa Jenis Air	1025 kg/m3

Setelah dilakukan simulasi gerak (*seakeeping*) terhadap kapal kontainer untuk 3 jenis kondisi gelombang yang datang dari arah samping kapal (*beamsea*) dengan sudut gelombang 90 derajat, maka kapal kontainer memberikan respon gerakan oleng (*roll*) yang berbeda-beda, dimana respon gerakan tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini[2][3].



Gambar 6. Grafik RAO gerak roll (oleng)

Hasil simulasi numerik pada gerak oleng (*rolling*) kapal kontainer memperlihatkan respon kapal yang cukup besar saat kapal berada pada gelombang 4 *Beaufort* dan 6 *Beaufort*. Menurut standar kriteria yang telah ditetapkan oleh Nordforsk 1987 untuk tipe kapal dagang, maka batas nilai RMS (*Root Mean Square*) untuk gerak *roll* kapal adalah 6 *degree* (derajat). Hasil simulasi numerik untuk RMS adalah sebagai berikut:

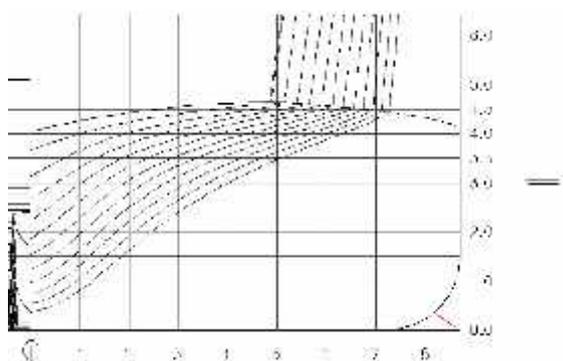
Tabel 3. Maksimum *roll* kapal yang diijinkan

Wave	Hs [m]	T [sec]	RMS Roll Motion		Status
			Numerik [deg]	NORDFOSK 1987	
2 Beaufort	1	6.262	0.37		ok
4 Beaufort	2	7.348	1.62	≤ 6 deg	ok
6 Beaufort	4	8.099	4.83		ok

Walaupun nilai maksimum gerakan oleng kapal kontainer masih diijinkan oleh standar kriteria Nordforsk 1987, namun nilai respon

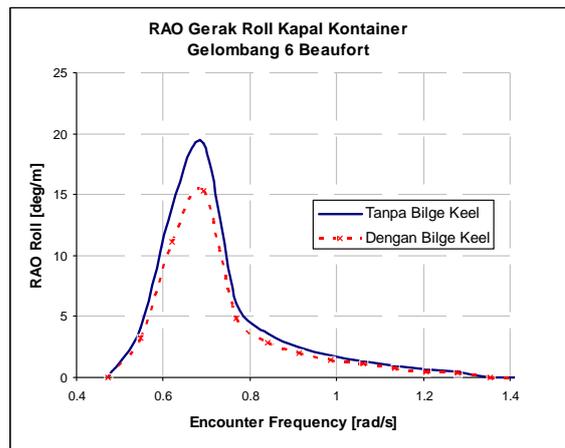
gerak *roll* kapal kontainer yang cukup besar pada gelombang 4 Skala *Beaufort* yakni 18.9 deg/m, dan 19.1 deg/m pada gelombang 6 Skala *Beaufort*. Untuk itu perlu dilakukan cara untuk mengurangi respon gerakan *roll* pada kapal kontainer yakni dengan perencanaan penambahan bilge keel pada kapal kontainer tersebut.

Bilge keel yang digunakan adalah *double plate* dengan ketebalan pelat 12 mm yang dipasang pada bilga kapal kontainer dengan lokasi 0.5 R, dimana R adalah radius bilga. Sudut *bilge keel* terhadap sarat air adalah 35 derajat. Panjang *bilge keel* adalah setengah dari panjang L_{pp} Kapal Kontainer, dan lebar *bilge keel* adalah 500 mm diukur dari pelat bilga. Gambar *bilge keel* tampak melintang ditampilkan pada Gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Body plan kapal kontainer dengan penambahan *bilge keel*

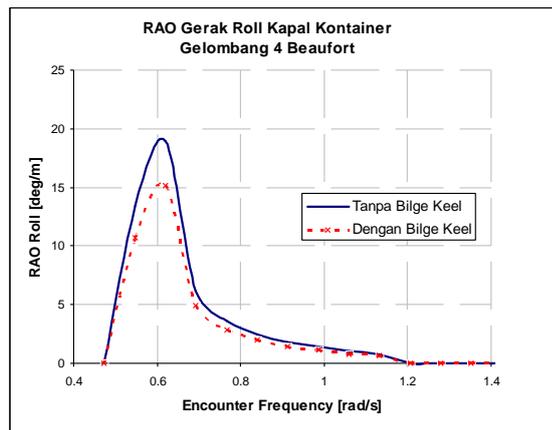
Hasil dari simulasi numerik gerak oleng (*rolling*) kapal kontainer yang telah ditambahkan komponen *bilge keel* memperlihatkan perubahan respon gerak *roll* kapal kontainer yang cukup besar saat kapal berada pada gelombang 4 Skala *Beaufort* dan gelombang 6 Skala *Beaufort*.



Gambar 8. RAO *roll* gelombang 6 Beaufort

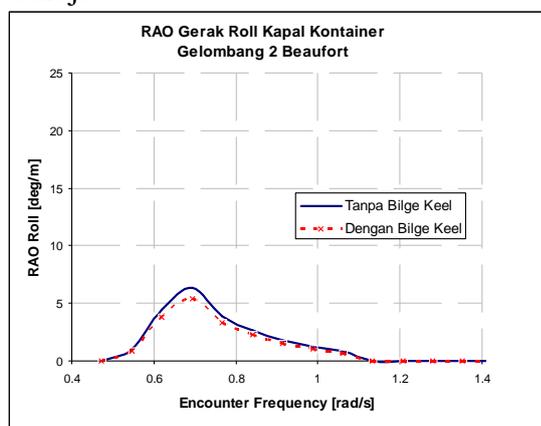
Pada Gambar 8 memperlihatkan bahwa pada saat gelombang 6 Skala *Beaufort* arah sudut datang 90 derajat memberikan respon kepada kapal kontainer dengan nilai maksimum RAO *roll* kapal kontainer sebelum penambahan *bilga keel* adalah sebesar 19.1 deg/m, sedangkan nilai puncak RAO *roll* kapal kontainer setelah penambahan *bilga keel* adalah sebesar 15.3 deg/m. Maka dengan penambahan *bilga keel* dapat mengurangi respon *roll* pada kapal kontainer sebesar 20% untuk gelombang 6 Skala *Beaufort* arah sudut datang 90 derajat.

Pada gelombang 4 Skala *Beaufort* arah sudut datang 90 derajat memberikan respon kepada kapal kontainer dengan nilai maksimum RAO *roll* kapal kontainer sebelum penambahan *bilga keel* adalah sebesar 18.9 deg/m dan setelah penambahan *bilga keel* nilainya adalah sebesar 15.1 deg/m. Maka dengan penambahan *bilga keel* dapat mengurangi respon *roll* pada kapal kontainer sebesar 20% untuk gelombang 4 Skala *Beaufort* arah sudut datang 90 derajat seperti yang ditampilkan pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. RAO roll gelombang 4 Beaufort

Sedangkan pada Gambar 10 menunjukkan bahwa pada saat gelombang 2 Skala Beaufort arah sudut datang 90 derajat memberikan respon kepada kapal kontainer pada nilai maksimum RAO roll kapal kontainer sebelum ditambahkan *bilge keel* adalah sebesar 4.5 deg/m dan setelah ditambahkan *bilge keel* nilainya berkurang menjadi 3.8 deg/m. Maka dengan adanya penambahan *bilge keel* pada kapal kontainer dapat mengurangi respon roll ada kapal kontainer sebesar 15% untuk gelombang 4 Skala Beaufort arah sudut datang 90 derajat.



Gambar 10. RAO roll gelombang 2 Beaufort 15%

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan penambahan bilge keel pada kapal kontainer tipe *small feeder* memberikan dampak yang cukup signifikan terhadap gerakan oleng Kapal Kontainer hingga dapat mengurangi respon gerak oleng sebesar 20% pada kondisi perairan 6 Beaufort

dan 4 Beaufort, dan sedikit mengurangi respon gerak oleng kapal pada kondisi perairan 2 Beaufort yakni kurang dari 15%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada para manajemen dan rekan-rekan BTH – BPPT yang telah bersama – sama mendukung terselenggaranya kegiatan pengujian model kapal kontainer.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ali, Baharuddin, et al. (2017) “Analisa Hidrodinamika Kapal Container Sarat Rendah.” KAPAL, Vol. 14, No. 3 Oktober
- [2] Bentley Systems, Incorporated 2017. Maxsurf Motion User Manual Book.
- [3] Bentley Systems, Incorporated 2017. Maxsurf Resistance User Manual Book.
- [4] Choiriya, Lya. Wasis Dwi Aryawan. (2013). “Desain *bilge keel* pada *shallow draft bulk carrier*” Jurnal Teknik POMITS Vol. 2, No. 1.
- [5] Giannis, Ptolemaios Papageorgiou, Stamatis. “A comparison of methods for predicting the wave added resistance of slow steaming ships.” School of Naval Architecture and Marine Engineering. Dec, 2013.
- [6] <http://coastalcare.org/2012/01/stricken-rena-cargo-ship-finally-sinks-off-new-zealands-coast/> diakses pada 16 September 2018 pukul 06.30 GMT + 7
- [7] Herbowo, Airlangga et al. (2017). “Analisa Fin Stabilizer terhadap Rolling pada Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT dengan metode CFD”. Jurnal Teknik Perkapalan Vol. 5, No. 1
- [8] Islam, M. N et al. (2004). “Computation of Ship Responses in Waves using Panel Method”. Journal of Naval Architecture and Marine Engineering. <http://aname.8m.net/jname>
- [9] J, Giri Chandra Aditya et al. (2017). “Analisa Pengaruh Sudut Masuk Kapal Perintis 750 DWT terhadap *resistance*

Kapal dengan Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)*".
Jurnal Teknik Perkapalan Vol 5, No. 2.

- [10] Mujahid, Ahmad S, et al. (2017). "A Prediction Method of Fatigue Life at The Rudder Stock". Journal of Subsea and Offshore Science and Engineering. Vol. No. 9. March, 20.
- [11] Utama, .I. K. A. P dan Daniel M. Rosyid. "Akankah CFD Menggantikan Peranan Fasilitas Eksperimen Secara Menyeluruh?", Fakultas Teknologi Kelautan ITS, Surabaya.
- [12] Yulianti, Maria Listyo et al. (2017). "Analisa Stabilitas Kapal Perintis 500 DWT setelah Penambahan Variasi Posisi Sudut dan lebar Bilga Keel" Jurnal Teknik Perkapalan Vol. 5, No. 4