

STUDI PENGEMBANGAN SKEG TERKONTROL UNTUK MENINGKATKAN KINERJA *MANEUVERABILITY* PADA KAPAL CEPAT

Study of Controlled Skeg to Improve Maneuverability Performance on Fast Ship

Nurhadi ¹, A. A Masroeri ¹ dan Baharudin Ali ²

¹ Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS

² Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Email: nrhadi@gmail.com

Diterima: 5 Nopember 2015; Direvisi: 27 Nopember 2015; Disetujui: 4 Desember 2015

Abstrak

Sebuah kapal patroli harus dirancang cepat, handal, kuat serta mempunyai stabilitas yang tinggi, disamping aspek-aspek ekonomis, keselamatan, kenyamanan dan persenjataan, agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Dalam hal peningkatan stabilitas kapal cepat penggunaan skeg pada buritan kapal disamping mempunyai efek positif juga mempunyai efek negatif yang berhubungan dengan turning ability dari kapal cepat, dimana skeg mengakibatkan semakin bertambah besarnya tactical diameter yang dibutuhkan untuk kapal melakukan gerak memutar sehingga kondisi ini sangat merugikan. Serangkaian studi dilakukan untuk mengkaji pengembangan skeg terkontrol untuk meningkatkan kinerja *turning ability* dari kapal cepat yang menggunakan skeg. Studi dilakukan dengan melakukan serangkaian percobaan *turning* dengan memvariasikan defleksi sudut skeg. Dari hasil penelitian diketahui bahwa skeg terkontrol mampu meningkatkan kinerja *turning ability* sebesar 17.4 % pada sudut defleksi skeg 15 deg, 20.3 % pada sudut 20 deg dan 23.7 % pada sudut 25 deg.

Kata kunci : Kapal cepat, *turning ability*, skeg terkontrol, kinerja.

Abstract

A patrol boat should be designed as fast, reliable, strong and has high stability, beside economics aspects in terms of fuel economy, safety, comfort and weapons, in order to perform its functions properly. In terms of improving the stability of the fast ship, the used of skeg at the stern of the ship had positive effects but also had a negative effect that associated with the turning ability, the skeg result in increasing the amount of tactical diameter of turning, that very adverse conditions. A series of studies have been conducted to assess the development of controlled skeg to improve performance of turning ability on fast ship that use skeg. The study was conducted by a series of experiments that varying the deflection angle of skeg. The results revealed that the controlled skeg can improve performance of turning ability by 17.4 % at angle deflection of skeg 15 deg, 20.3 % at angle of 20 deg and 23.7 % at angle of 25 deg.

Keywords ; Fast ship, *turning ability*, controlled skeg, performance.

PENDAHULUAN

Kapal patroli cepat secara umum difungsikan untuk melindungi dan mengawasi suatu wilayah perairan dari kegiatan-kegiatan penyelundupan, pembajakan, ilegal logging, ilegal fishing, invasi negara asing, atau menjaga kedaulatan laut suatu negara. Untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik maka kapal patroli harus dirancang cepat, handal, kuat, nyaman dan mempunyai stabilitas yang tinggi, hal ini merupakan prioritas utama disamping aspek-aspek ekonomis dari segi bahan bakar, keselamatan, kenyamanan dan persenjataan.

Dalam hal untuk peningkatan stabilitas kapal cepat. *Keuning*, melakukan studi penambahan aktif bow fin, sementara *Han Kim.J and Yonghwan Kim (2002)*, melakukan studi penggunaan active fin dan anti rolling tank.

Sementara salah satu upaya peningkatan efisiensi system propulsi agar lebih baik pada beberapa desain kapal cepat ditambahkan sebuah sirip atau fin di sisi buritan kapal yang seringkali disebut skeg. Skeg merupakan modifikasi pada bagian buritan kapal yang bertujuan untuk menjaga stabilitas kapal saat kapal melaju pada kecepatan tinggi serta membantu fluida mengalir lebih smooth melewati hull dan propeller. Penambahan skeg pada buritan kapal cepat selain mempunyai efek positif juga mempunyai efek negatif yang berhubungan dengan turning ability dari kapal cepat tersebut, dimana skeg mengakibatkan semakin bertambah besarnya tactical diameter yang dibutuhkan untuk kapal melakukan gerak memutar (*Yasukawa, 2006*). Tentunya dengan semakin besarnya tactical diameter yang dibutuhkan kapal cepat untuk melakukan maneuver turning akan sangat merugikan, terlebih lagi jika kapal difungsikan sebagai kapal patroli yang membutuhkan keandalan dalam bermanuver, sehingga diperlukan suatu upaya untuk memperbaiki kondisi tersebut.

Perumusan dan Batasan Masalah

Berdasar permasalahan yang dikemukakan sebelumnya, penulis ingin mengkaji untuk pengembangan skeg terkontrol sehingga diketahui seberapa besar efeknya dalam hal peningkatan performance maneuverability pada kapal cepat.

Sedangkan batasan masalah dalam melakukan penelitian yang akan dilakukan mencakup beberapa aspek antara lain : desain hull dan bentuk skeg kapal cepat dianggap fix, penelitian difokuskan pada turning ability kapal cepat dengan pengujian pada

kondisi calm water (tanpa gelombang) mengacu pada standart pengujian ITTC, penelitian tidak mengkaji pengaruh perubahan aliran di sekitar propeller serta interaksinya akibat skeg terkontrol, penelitian tidak membahas tentang teknik pengontrolan skeg sehingga skeg dibuat fix pada berbagai sudut tertentu secara mekanik.

TINJAUAN PUSTAKA

Kajian penelitian yang terkait dengan peningkatan performa maneuver pada kapal cepat serta pemanfaatan skeg pada kapal cepat, masih sangat jarang ditemui, diantara beberapa kajian yang terkait dengan penelitian antara lain:

Keuning (2012), memaparkan tentang penggunaan sebuah Vertical Bow Fin untuk menstabilkan yaw dan roll pada kapal cepat, diilhami dari pergerakan rudder pada kapal cepat saat kapal melaju dengan kecepatan tinggi seringkali memberikan efek roll yang cukup besar sehingga stabilitas kapal patroli terganggu.

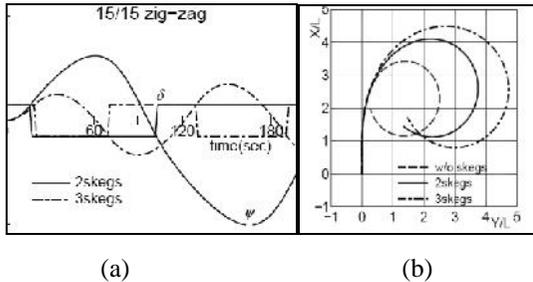
Dari hasil penelitiannya (*Keuning & Vish*) menyatakan, bahwa : (a) Sirip/fin sedang di haluan menghasilkan kekuatan maksimum 30 kN dan sirip besar maksimum 40 kN. Jadi semakin besar bow fin, semakin besar dayanya, namun efisiensi yang dihasilkan relative kecil dibandingkan dengan rudder konvensional yang mencapai 120 kN.

(b) Jika dibandingkan momen yaw dari ketiga bow fin dihasilkan bahwa momen maksimum dicapai pada sudut 15^0 sudut fin, dan tidak pada sudut 20^0 dari sudut fin. Hal ini sejalan dengan momen maksimum yang dihasilkan rudder konvensional pada sudut 15^0 . (c) Roll yang dihasilkan dari tiga bow fin juga signifikan lebih kecil dari yang dihasilkan dengan kemudi konvensional, dimana nilai maksimum 14 KNM, 28 KNM dan 60 KNM dibandingkan dengan kemudi konvensional yang mencapai 186 KNM.

H.Yasukawa, N.Hirata serta K.Kose (2006), memberikan gambaran tentang adanya peningkatan kemampuan course keeping ability kapal cepat lambung tunggal dengan penambahan skegs. Kapal yang digunakan dalam penelitian menggunakan system propulsi water jet dengan speed 40 knot, dimana kapal mempunyai course keeping ability kurang bagus. Berdasarkan hasil data eksperimen captive test dilakukan simulasi maneuvering baik zig-zag dengan sudut rudder 15 deg serta simulasi turning circle dengan sudut rudder 30 deg untuk melihat efektifitas dari pemakaian skegs.

Dari hasil simulasi yang dilakukan (H.Yasukawa, N.Hirata serta K.Kose) diketahui bahwa pemakaian skegs dengan ratio $As/LT = 1/33$ efektif untuk meningkatkan course keeping ability dari kapal cepat, baik pada kecepatan yang rendah maupun tinggi.

Pada hasil simulasi zig-zag 15 deg (Gambar 1a) didapatkan hasil overshoot yang lebih kecil untuk 3 skegs dibandingkan dengan 1 skegs, sedangkan turning circle berlaku sebaliknya (Gambar 1b).



Gambar 1. Hasil Simulasi Zigzag dan Turning (Sumber: H Yasukawa ,2006)

Andi HM, MA Djabbar, Nidia (2013) dalam kajian ilmiahnya melakukan studi tentang effect dari luas area rudder dan kecepatan pada performa maneuvering sebuah kapal ferry, terutama selama melakukan gerak zig-zag dan turning circle. Dari hasil simulasi AH Muhammad, MA Djabbar, Nidia (2013), menyimpulkan bahwa luasan rudder semakin besar menghasilkan gaya steering lebih besar dan semakin cepat kapal semakin besar gaya yang diinduksikan propeller.

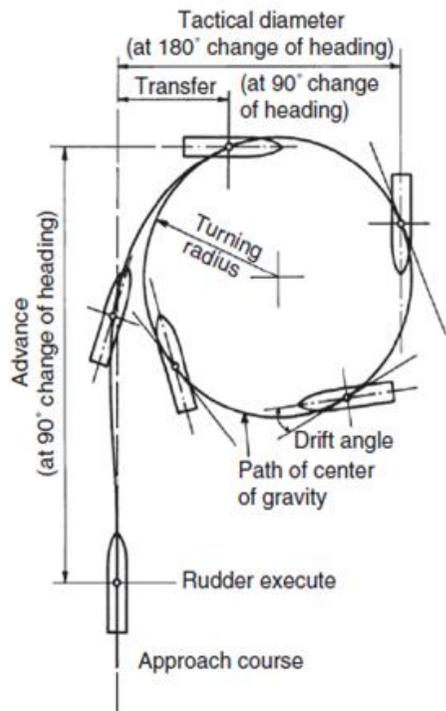
Standar Maneuverability

Dalam *maneuvering* sebuah kapal, prosedur yang digunakan mengacu kepada peraturan standar kemampuan *maneuver* kapal yang direkomendasikan oleh *International Maritime Organization* (IMO) yakni resolusi MSC.137 (76) annex.6 tertanggal 4 Desember 2002 dan mulai diterapkan sejak tanggal 1 Januari 2004, yang mana resolusi ini merupakan amandemen terhadap resolusi sebelumnya yakni A.751 (18) mengenai standar kemampuan *maneuver* kapal

Dalam menganalisa *maneuver performance* kapal maka pengujian *maneuver* baik ke arah *portside* maupun *starboard* harus dilaksanakan dengan kondisi sebagai berikut: (a) Pengujian dilakukan pada perairan dalam (*deep water*) atau perairan tak terbatas (*unrestricted water*) (b) Kondisi perairan atau lingkungan yang tenang (*calm environment*). (c)

Kondisi sarat penuh (sesuai dengan garis air pada musim panas), *even keel* (d) *Steady approach* pada saat *speed test*.

Turning circle test, dimulai dari gerak lurus kapal dengan kecepatan konstan sesuai kecepatan dinas, *rudder* dihidupkan dengan kecepatan maksimum ke sudut (sudut kemudi maksimum) dan tetap pada sudut tersebut, sampai kapal telah melakukan *turning cycle* paling kurang 540°. Percobaan dilakukan untuk bagian *port side* dan *starboard*. Informasi penting yang diperoleh dari manuver tersebut umumnya direkam dengan menggunakan GPS,dapat dilihat Gambar 2 .



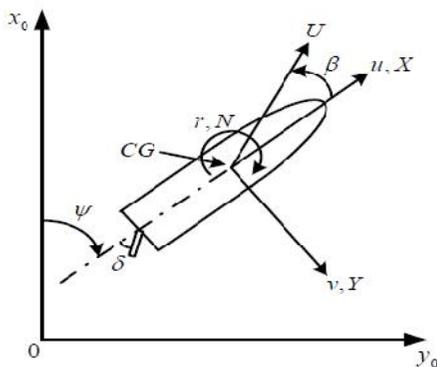
Gambar 2. Turning cycle maneuver (Sumber: IMO Resolusi MSC 137 (76) 2002)

Beberapa parameter yang digunakan untuk mendefinisikan kinerja kapal pada saat berputar (Gambar 2) adalah : (a) *Drift angel* (sudut drift), adalah sudut antara haluan kapal dan arah gerakan. (b) *Advanced*, merupakan jarak dari pelaksanaan awal ke sumbu x pada kapal ketika telah berbelok 90°. (c) *Transfer*, merupakan jarak dari jalur ke awal mula kapal ketika sumbu x pada kapal telah berbelok 90°. (d) *Tactical diameter*, merupakan jarak dari jalur awal ke sumbu x pada kapal ketika kapal telah berbelok 180°.

Model Matematika

Menurut Ogawa dan Kansai (1987), persamaan matematika untuk analisis *maneuver* melalui simulasi komputer dikembangkan berdasarkan konsep MMG (*Mathematical Modelling Group*), persamaan matematika tersebut meliputi pengujian persamaan terpisah komponen lambung, propeller, dan kemudi serta komponen interaksi antara ketiganya (lambung-propeller-kemudi).

Model matematika untuk gerak manuver dapat disusundari persamaan gerak dengan mengacu pada sistem koordinat, yang berpusat pada titik gravitasi kapal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Koordinat System kapal
(Sumber : Ship hydromechanics)

Seperti ditunjukkan dalam Gambar 3, (U) adalah kapal yang sebenarnya, dimana kecepatan tersebut dapat dijabarkan dalam kecepatan transversal (v) dan kecepatan advance (u). Kapal juga memiliki kecepatan rotasi terhadap sumbu z

Interaksi kedua sumbu dan penurunan dari hukum gerak newton maka gerak dinamis dari model kapal dapat digambarkan sebagai berikut:

$$X' = \left\{ (m' + m'_x) \left(\frac{L}{U} \right) \left(\frac{U}{U} \cos \beta - \beta \sin \beta \right) + (m' + m'_x) r' \sin \beta \right\} \dots \dots \dots [1]$$

$$Y' = \left\{ -(m' + m'_y) \left(\frac{L}{U} \right) \left(\frac{U}{U} \sin \beta - \beta \cos \beta \right) + (m' + m'_x) r' \cos \beta \right\} \dots \dots \dots [2]$$

$$N' = \left\{ (I'_{zz} + J'_{zz}) \left(\frac{L}{U} \right)^2 \left(\frac{U}{L} r' + \frac{U}{L} \dot{r}' \right) \right\} \dots \dots \dots [3]$$

Dimana ;

X' = gaya surge yang bekerja pada kapal

Y' = gaya sway yang bekerja pada kapal

N' = moment yaw yang bekerja pada kapal

m' = massa dari kapal

m'x = penambahan massa pada sumbu x

m'y = penambahan massa pada sumbu y

I'zz = moment inertiya pada sumbu z dari kapal

J'zz = penambahan moment inertiya pada sumbu z dari kapal

= drift angle pada titik pusat gravitasi CG

r' = turning rate [r = d / dt]

L = panjang kapal

T = sarat kapal

U = kecepatan kapal

Gaya dan momen hidrodinamika tersebut dapat didefinisikan secara terpisah ke dalam berbagai fisik elemen gaya dan momen kapal sesuai dengan konsep yang dikembangkan MMG antara lain :

$$X' = X'_H + X'_R + X'_P \dots \dots \dots [4]$$

$$Y' = Y'_H + Y'_R \dots \dots \dots [5]$$

$$N' = N'_H + N'_R \dots \dots \dots [6]$$

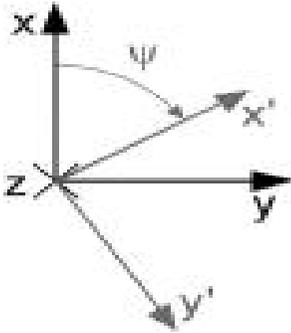
Dimana, H, P dan R adalah sebagai elemen lambung (hull), baling-baling (propeller), dan daun kemudi (rudder).

Sistem Pengukuran Trajectory Model

Pengukuran pergerakan trajectory model uji selama pengujian turning dilakukan dengan menggunakan QTM (Qualysis Track Manager). QTM adalah sebuah perangkat lunak yang dirancang dengan menggunakan model kamera Qualisys, kamera tersebut digunakan sebagai media pengumpulan data yang cepat dan tepat. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk merekam data secara real time baik dalam 2D, 3D dan 6 DOF dengan response waktu yang cepat. QTM juga dapat melakukan identifikasi marker secara otomatis baik passive maupun aktif marker, mudah dalam penambahan kamera jika diperlukan perluasan objek area yang direkam.

Pada saat capture pengukuran dilaksanakan software akan segera merekam pergerakan marker. Masing-masing dari rotasi matrik ini dapat dilihat pada gambar 5, dengan pemisalan didapatkan orientasi baru dari titik x' dan y' pada koordinat x, y, dan y, kemudian dibuat suatu persamaan matrik. Contoh berikut adalah

rotasi yang terjadi terhadap sumbu Z pada arah positif yaw (y) searah jarum jam jika sumbu Z axis masuk.



Gambar 5. Koordinat sumbu marker pada QTM

Maka hasil ketiga persamaan matrik tersebut adalah :

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos\phi & 0 & \sin\phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\phi & 0 & \cos\phi \end{bmatrix}$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matrik putar (R) kemudian dihitung dengan mengalikan ketiga matrik tersebut. Pada perkalian berikut pertama akan didapatkan rata-rata roll kemudian pitch dan yaw.

$$R = R_x \cdot R_y \cdot R_z = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

Sehingga didapatkan persamaan berikut untuk menghitung sudut rotasi :

$$Pitch = \phi = \arcsin(r_{13}),$$

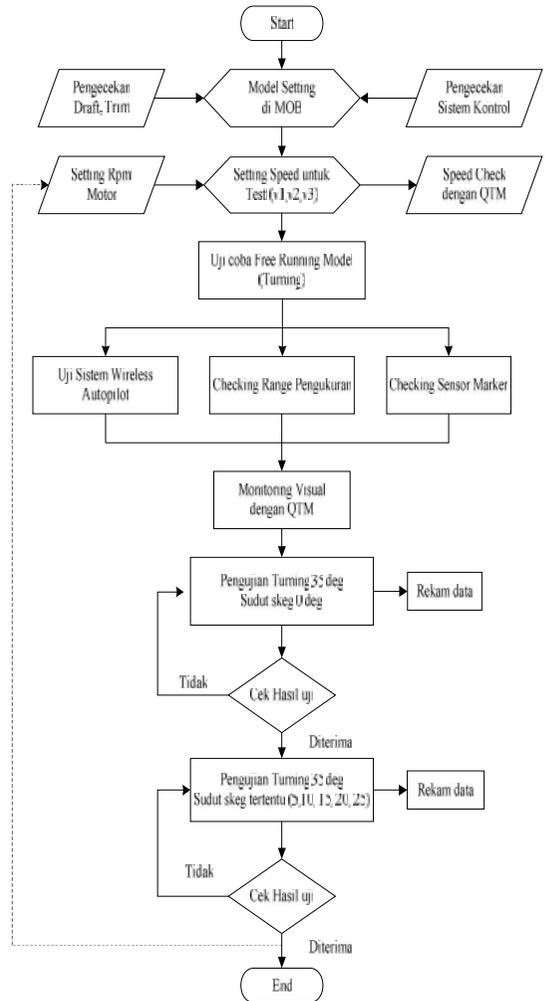
$$Roll = \theta = \arccos\left(\frac{r_{33}}{\cos\phi}\right)$$

$$Yaw = \psi = \arccos\left(\frac{r_{11}}{\cos\phi}\right) \dots \dots \dots [7]$$

Metodologi

Untuk penyelesaian masalah yang dihadapi maka akan digunakan metoda eksperimen atau pengujian dalam skala model uji. Eksperimen dilakukan dengan melalui beberapa tahapan mulai dari pengumpulan data sekunder, persiapan model uji kapal cepat, persiapan kontrol, kalibrasi, persiapan pengujian model uji, pengumpulan data primer dan analisa data hasil pengujian. Pengujian manoeuver model kapal cepat ini akan dilaksanakan di kolam *Manoeuvring Ocean Engine Basin* (MOB), UPT BPP Hidrodinamika, BPPT, Surabaya.

Gambar 6, Menunjukkan diagram alir pengujian yang akan dilaksanakan dengan metode *free running* test guna mengumpulkan data-data primer.



Gambar 6. Flowchart Pengujian Turning dengan Free Running Model

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk data kapal cepat yang digunakan dalam penelitian adalah :

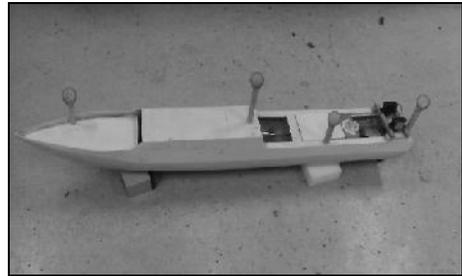
- Panjang kapal : 90 meter
- Lebar : 13 meter
- Displacement : 1700 ton
- Kecepatan dinas/ top : 18 / 28 knot
- Propeller : twin screw 3.3 m

Modifikasi skeg dengan memotong skeg sebesar luasan rudder, Skeg yang telah dipotong diberi suatu poros dari bahan aluminium pejal, dihubungkan dengan sebuah poros yang terbuat dari dilerin sedemikian rupa sehingga skeg dapat diubah kemiringan sudutnya. Bentuk modifikasi dan posisi skeg model kapal diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Bentuk dan Modifikasi Skeg pada Model Uji

Perekaman gerak model uji digunakan Qualysis Track Manager. Sistem ini membutuhkan beberapa kamera Oqus serta target pasif yang akan dipasang pada model uji seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Letak Posisi Target

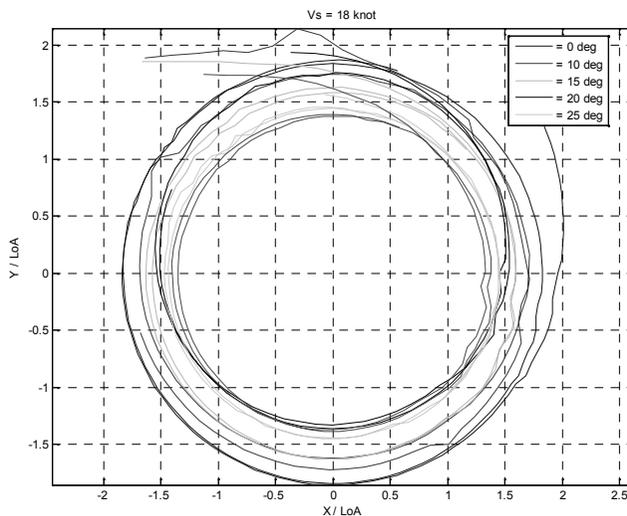
Gambar 9, menunjukkan foto saat pengujian dimana gelombang yang cukup besar pada saat kapal pertama kali berbelok dengan sudut 35 deg, gelombang ini semakin kecil ketika yaw kapal sudah lebih dari 180 deg atau sudah melakukan satu putaran dimana saat itu kapal sudah mengalami penurunan kecepatan.



Gambar 9. Pengujian Vs 28 knot, skeg 15 deg

Performance Turning Ability

Dari hasil pengujian didapatkan grafik perbedaan diameter turning D terhadap panjang kapal sebagai berikut :



Gambar 10. Diameter turning pada kecepatan uji 18 Knot

Pada Gambar 10, terlihat bahwa dengan defleksi sudut skeg 15,20,25 deg, diameter turning menjadi lebih kecil untuk kecepatan uji 18 knot. Nilai D/LOA rata-rata dari 3.73 pada sudut skeg 0 deg menjadi 3.12 pada sudut skeg 15 deg, 2.95 pada sudut skeg 20 deg dan 2.80 pada sudut skeg 25 deg. Secara lebih lengkap hasil uji pada kecepatan 18 knot dapat dilihat dalam Tabel 1.

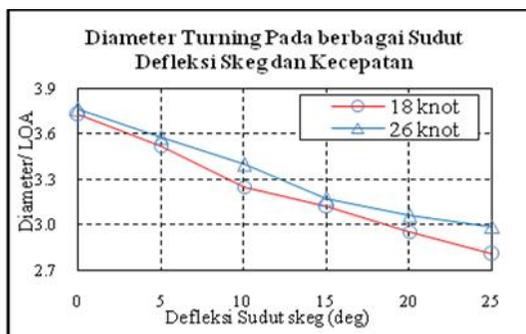
Tabel 1. Diameter Turning hasil pengujian pada variasi defleksi sudut skeg pada kecepatan 18 knot

Diameter Turning Kapal pada Kecepatan 18 Knot							
Skeg	D1	D2	D3	D4	D5	Rata rata	%
0	3.80	3.72	3.70	3.69		3.73	0
5	3.43	3.47	3.51	3.66	3.45	3.52	6.5%
10	3.28	3.26	3.24	3.21	3.27	3.25	13.6%
15	3.10	3.10	3.13	3.10	3.16	3.12	17.0%
20	2.95	2.92	2.99	2.91	2.95	2.96	21.4%
25	2.79	2.81	2.79	2.81	2.80	2.81	25.4%

Tabel 2. Diameter Turning hasil pengujian pada variasi defleksi sudut skeg kecepatan uji 26 knot

Diameter Turning Kapal pada Kecepatan 26 Knot							
Skeg	D1	D2	D3	D4	D5	Rata rata	%
0	3.75	3.76	3.81	3.73		3.76	0
5	3.52	3.67	3.59	3.59	3.58	3.58	4.9%
10	3.46	3.37	3.34	3.42	3.43	3.40	9.7%
15	3.15	3.22	3.23	3.17	3.09	3.17	15.7%
20	3.08	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	18.6%
25	3.01	3.21	3.06	2.91	2.88	2.99	20.5%

Pada Tabel 2, disajikan hasil perbandingan nilai D/LOA dengan defleksi sudut skeg 15,20,25 deg, pada kecepatan uji 26 knot.



Gambar 11. Perbandingan D/LOA pada Kecepatan 18 knot dan 26 knot

Gambar 11. Menunjukkan terjadinya kenaikan performance turning ability yang cukup signifikan dengan perubahan sudut defleksi skeg dari 0 ke 25 deg,

KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil satu kesimpulan yang mendukung hipotesa awal. Berdasarkan hasil eksperimen diketahui bahwa skeg terkontrol mampu meningkatkan performance turning ability pada kapal cepat sebesar 17.4 persen pada sudut 15 deg, 20.3 persen pada sudut 20 deg dan 23.7 persen pada sudut 25 deg.

Terjadi perbedaan diameter turning kapal pada masing-masing kecepatan uji model kapal, namun besarnya perbedaan ini tidak terlalu besar.

DAFTAR PUSTAKA

- ABS, *Guide for Maneuverability*, American Bureau of Shipping, 2006.
- Andi HM, MA Djabbar, Nidia Y, *Maneuvering Performance of a Ferry Affected By Rudder Aea and Speed*, Indonesian Journal of Naval Architecture Vol 1, 2013.
- Esteban S et al, *Fast Ships Models for Seakeeping Improvement Studies Using Flaps and T – Foil*, 2004.
- Dubbioso G, Viviani M, *Aspects of Twin Screw Ships Semi-empirical Maneuvering Models*, Ocean Engineering 48 (2012) 69–80, 2012
- Han Kim.J and Yonghwan Kim, *Study on Heel Stabilization for Cruise Ship by using Active Fin and Anti-Rolling Tank*, Seoul National University, Korea, 2002.
- IMO, *Explanatory Notes to The Standarts for Ship Manoeuvrability*, London 2002
- Im N.K, Lee.S.M, Lee .C.K, *The influence of skegs on coursestability of a barge with a different configuration*, Ocean Engineering 97(2015)165–174, 2015.
- Keuning J.A, Vish L Guido, *The Use of Vertical Bow Fin for The Combined Roll and Yaw Stabilization of Fast Patrol Boat*, Delf University.
- Mohd Noor1 et al, *Prediction of Manoeuvring Behaviour of an offshore Supply Vessel by Using Simulation Program*, Proceedings of MARTEC 2010.
- Nikolai Kornev, Ing, Dr, Prof, *Lectures on Ship Manoeuvrability*, Faculty of Mechanical

Engineering and Marine Technology Chair of Modelling and Simulation, Universitat Rostock, Rostock, 2013.

Oltmann. P , Sharma .S.D, *Simulation of Combined Engine and Rudder Maneuvers using an Improved Model of Hull-Propeller-Rudder Interactions*, University of hamburg, 1984.

Samoilescu. G, Radu. S, *Stabilisers and Stabilising Systems on Ships*, Targu International Conference, 2002.

Subramanian A, Asokumar, Thaju M, *Virtual Instrumentation Based Active Fin Control for Roll Stabilization*, Institute of Technology Madras, India, 2005.

Tatsuo Arie et al, *An Adaptive Steering System for a Ship*, IEEE Control Systems Magazine, Oktober 1986.

Yasukawa. H, Hirata. N, Kose. K, *Improvements of Course Keeping Ability of A High Speed Mono-Hull by Skegs*, 2006.

Zhang J.F, Yan XP Zhang D, *Ship Trajectory Control Optimization in Anti-collision Maneuvering*, The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2013.