

## PERFORMA MANEUVERING KAPAL PERIKANAN 30 GT DENGAN KONFIGURASI PROPELER ASIMETRIK

### MANEUVERING PERFORMANCE OF A 30 GT FISHING VESSEL WITH ASYMMERICAL PROPELLER CONFIGURATION

Andi Haris Muhammad<sup>1\*</sup>, Syarifuddin<sup>2</sup>, Daeng Paroka<sup>3</sup>,  
Sabaruddin Rahman<sup>3</sup>, Wisyono<sup>1</sup>, dan Andi Angga Pratama<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sistem Perkapalan, FTUH, Makassar

<sup>2</sup>Departemen Teknik Perkapalan, FTUH, Makassar

<sup>3</sup>Departemen Teknik Kelautan, FTUH, Makassar

\*E-mail: [andi\\_haris@ft.unhas.ac.id](mailto:andi_haris@ft.unhas.ac.id)

#### ABSTRACT

*Fishing vessels are designed with a specific mission. That mission is to locate, catch, and preserve fish while out at sea, meanwhile the vessel needed to have good maneuverability. This research describes a study on asymmetrical propeller configuration of a fishing vessel to improve its maneuvering quality. MATLAB-simulink program was used to simulate, the turning circle and the zigzag maneuvers. The simulation program was developed based on the mathematical model for a fishing vessel maneuvering. The mathematical model involved the setting-up a 3 DOF (Degrees of Freedom) mathematical model in a modular of MMG (Mathematical Modeling Group) of the hull, propeller and rudder component. The result indicated that twin propeller with asymmetrical had an advantages of turning circle ability of 8% to 14 %, meanwhile the zigzag maneuver 20°/20° had 9 to 20 % 1<sup>st</sup> overshoot different between left and right heading.*

**Keywords:** Configuration, propeller, assymetrical, fisheries, simulation

#### ABSTRAK

Kapal perikanan umumnya dirancang dengan misi khusus. Misi kapal perikanan adalah menemukan, menangkap dan melestrikan ikan selama pelayaran, disamping itu kapal perikanan harus memiliki performa *maneuvering* yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan performa *maneuvering* kapal perikanan melalui penggunaan konfigurasi propeler ganda asimetrik. Program MATLAB-Simulink digunakan dalam simulasi *turning circle* dan *zigzag maneuver*. Program simulasi telah dikembangkan berdasarkan persamaan matematika *maneuvering* kapal perikanan pada 3-DOF (*Degres of Freedom*) yang meliputi persamaan terpisah komponen lambung, propeler, dan kemudi dalam Konsep MMG (*Mathematical Modelling Group*). Hasil penelitian menunjukan bahwa melalui penggunaan propeler ganda dengan konfigurasi asimetrik telah meningkatkan performa *turning circle* sebesar 8 sd 14 %. Sementara untuk gerak *zigzag maneuver 20°/20°* terjadi perbedaan *1<sup>st</sup> overshoot* sebesar 9 sd 20% antara *heading* kiri dan kanan.

**Kata Kunci:** konfigurasi, propeler, asimetrik, perikanan, simulasi

#### I. PENDAHULUAN

Kapal perikanan umumnya dirancang dengan misi khusus (menemukan, menangkap dan melestrikan ikan), hal ini menjadikan kapal perikanan memiliki parameter desain yang berbeda dibanding dengan kapal niaga pada umumnya. Yoshimura dan Ning (2003) menyebutkan sejumlah parameter

yang mendukung performa *maneuvering* kapal perikanan: kapal memiliki perbandingan panjang dan lebar (*L/B*) yang relatif kecil, kapal memiliki ukuran daun kemudi dan propeler yang relatif besar, dan umumnya kapal dioperasikan dengan kondisi trim awal di bagian haluan yang relatif besar yaitu berkisar antara 30-40% dari sarat kapal (*T*). Rawson dan Tupper (2001) menambahkan

bahwa performa *maneuvering* kapal sangat pula dipengaruhi oleh pemuatan saat kapal dioperasikan.

*Maneuvering* kapal adalah kemampuan olah gerak kapal berbelok dan berputar saat beroperasi, performa ini sangat menentukan keselamatan kapal, khususnya saat kapal beroperasi di perairan terbatas. IMO (*International Maritime Organisation*) telah mensyaratkan sejumlah kriteria standar keselamatan yang harus dipenuhi oleh sebuah kapal, diantaranya adalah *turning circle* dan *zigzag maneuver* (IMO, 2002). Secara prinsip *maneuvering* kapal sangat dipengaruhi oleh perancangan badan kapal (lambung), sistem propulsi (propeler) dan sistem kemudi (daun kemudi). Sejumlah elemen tersebut secara langsung memberi pengaruh yang signifikan terhadap gaya dan momen hidrodinamika pada saat kapal manuver (Maimun *et al.*, 2004).

Abramowski *et al.* (2010) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa bentuk badan kapal, sangat berpengaruh terhadap keseragaman aliran yang menuju propeler (arus ikut) dan secara langsung besaran arus ikut ( $w$ ) ini akan mempengaruhi gaya dorong kapal. Abramowski (2005) dalam penelitiannya pula menjelaskan bahwa besaran arus ikut akan meningkat pada saat kapal manuver dibanding jika kapal bergerak lurus kedepan, hal ini dipengaruhi oleh perubahan sudut arah kecepatan kapal secara horisontal ( $u$ ) dan arah datang aliran menuju kapal ( $U$ ).

Pemanfaatan arus ikut dalam meningkatkan efisiensi propulsi, khususnya terhadap performa *maneuvering* kapal terus ditingkatkan dengan melalui penggunaan propeler ganda. Yoshimura dan Sakurai (1988) dalam penelitiannya menyebutkan - penggunaan propeler ganda sangat efektif untuk meningkatkan performa *maneuvering*, khususnya saat kapal beroperasi pada perairan terbatas. Namun penggunaan propeler ganda dapat pula menyebabkan ketidakseimbangan kerja propeler antara bagian kiri dan kanan, hal ini bergantung pada arah gerakan kapal (Caraddu *et al.*, 2013).

Berdasarkan pembahasan diatas dan melihat fenomena yang berkembang dilapangan sejumlah kapal perikanan tipe *purse-seine* yang beroperasi di perairan Sulawesi, sejumlah kapal telah dilengkapi lebih dari satu propeler, disamping propeler utama yang diletakan pada bagian pusat sumbu buritan kapal (Gambar 1), propeler juga diletakan pada sisi kiri dan kanan lambung kapal. Peletakan propeler pada sisi lambung kapal bagian buritan dengan harapan agar performa *maneuvering* kapal dapat ditingkatkan, khususnya pada saat kapal beroperasi melingkar jaring (*turning circle*) dengan kecepatan maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan performa *maneuvering* kapal perikanan melalui penggunaan konfigurasi propeler ganda asimetrik.



Gambar 1. Konfigurasi peletakan propeler kapal perikanan.

## II. METODE PENELITIAN

### 2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan selama 3 Bulan (Mei s.d Juli 2015) yang berpusat pada pelabuhan perikanan di Kelurahan Pangali-ali Kecamatan Banggae Kabupaten Majene Provinsi Sulawesi Barat.

### 2.2. Bahan dan Data

Kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapal perikanan INKA MINA 759 yang beroperasi pada perairan Selat Makassar. Kapal berkapasitas 30 GT

dengan panjang ( $L_{OA}$ ) 26,25 m dilengkapi alat tangkap tipe *purse-seiner* sepanjang 450 m, motor penggerak berkekuatan ( $P_B$ ) 170 HP dengan kecepatan jelajah ( $V_s$ ) 5,53 m/s. Tabel 1 menampilkan data kapal perikanan yang meliputi ukuran utama kapal, sistem penggerak dan kendali kapal.

**2.3. Konfigurasi Propeler dan Skenario Operasi**

Mengetahui pengaruh peletakan propeler terhadap performa *maneuvering* kapal, sejumlah asumsi dikembangkan antara lain: kapal diasumsikan beroperasi menggunakan propeler tunggal dengan daya motor 100% atau disebut konfigurasi  $P_1$  (Gambar 2a) dan kapal diasumsikan beroperasi menggunakan propeler ganda asimetrik dengan daya motor kombinasi 60% dan 40% atau disebut konfigurasi  $P_2$  (Gambar 2b), jarak antara propeler  $P_{2-1}$  dan  $P_{2-2}$  dengan  $Y_{SP}=1,2$  m. Selanjutnya masing-masing konfigurasi ( $P_1$  dan  $P_2$ ) dioperasikan pada 2 kondisi pengoperasian yaitu: kondisi 1 atau disebut

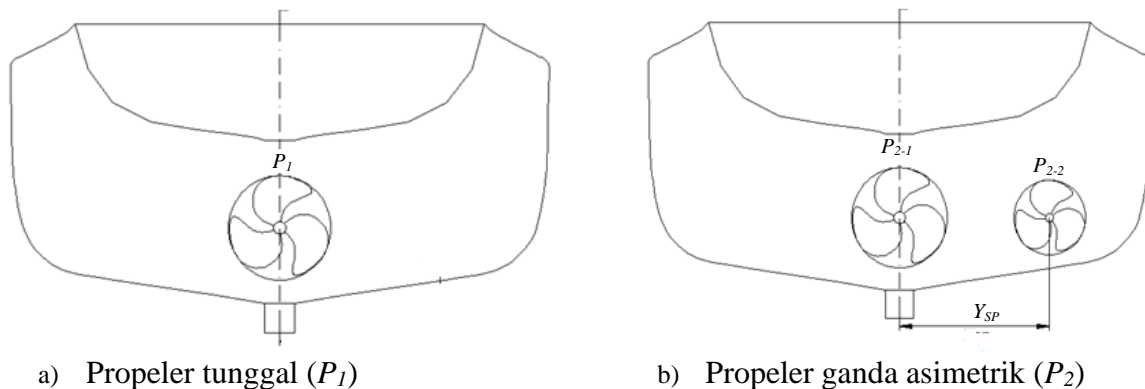
$K_1$ : diasumsikan kapal beroperasi dan meninggalkan lokasi penangkapan (*fishing ground*) dengan muatan penuh ( $\Delta = 65,71$  Ton), dan Kondisi 2 atau  $K_2$ : diasumsikan kapal meninggalkan pelabuhan dan dapat beroperasi di lokasi penangkapan dengan muatan kosong ( $\Delta = 46,671$  ton).

**2.4. Prosedur Analisis**

Perancangan sistem propulsi kapal, sejumlah koefisien penting untuk diprediksi antara lain: koefisien tahanan lambung kapal ( $C_T$ ) diprediksi dengan menggunakan Metode Hotrop (Holtrop and Mennen, 1982 dan Hotrop, 1984). Prediksi koefisien gaya dorong ( $K_T$ ) dan momen torsi propeler ( $K_Q$ ) yang diorientasikan pada tipe *Wageningen B-series* yang dikembangkan Kuiper (1992) dan Carton (2012). Selanjutnya penentuan besaran daya motor ( $P_B$ ) ditentukan dengan menggunakan Konsep *hull-propeller-engine matching* sebagaimana yang dikembangkan Muhammad *et al.* (2001).

Tabel 1. Data kapal perikanan.

| Kapal            |       | Propeler |       | Kemudi          |       | Motor penggerak |         |
|------------------|-------|----------|-------|-----------------|-------|-----------------|---------|
| $L_{OA}$ (m)     | 26,25 | N        | 1     | A ( $m^2$ )     | 0,328 | $P_B$ (HP)      | 170     |
| $L_{PP}$ (m)     | 22,70 | Z        | 3     | B (m)           | 0,8   | n(rps)          | 1500/60 |
| B (m)            | 4,20  | D (m)    | 0,8   | C (m)           | 0,41  |                 |         |
| H (m)            | 1,80  | Ae/Ao    | 0,40  | $\delta$ (deg.) | 3,5   |                 |         |
| T (m)            | 1,20  | P/D      | 0,8   |                 |       |                 |         |
| $\Delta$ , (Ton) | 65,74 | n (rps)  | 13,29 |                 |       |                 |         |



Gambar 2. Konfigurasi peletakan propeller.

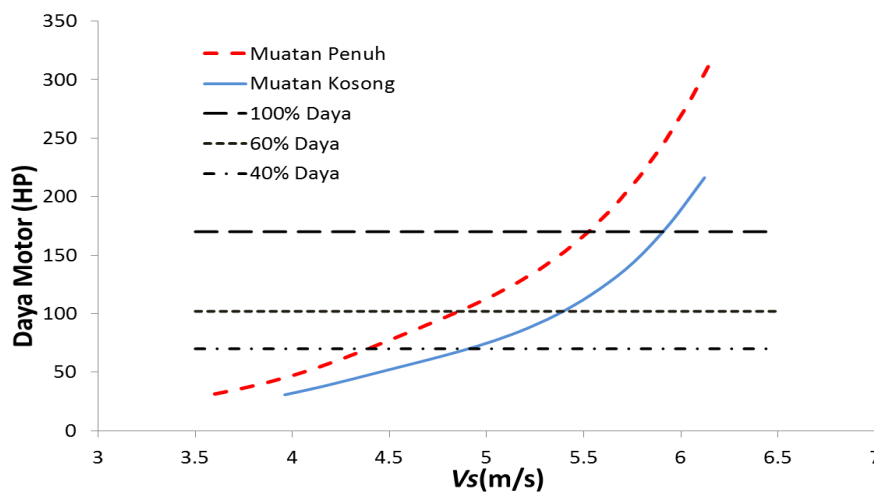
Prediksi gerak *maneuvering* kapal di simulasi melalui program MATLAB-Simulink pada 3-DOF (*Degree of Freedom*) yaitu gerak *surge*, *sway* dan *yaw*. Persamaan matematika yang digunakan dalam program simulasi terdiri dari persamaan terpisah komponen lambung, propeler dan kemudi yang terintegrasi pada Konsep MMG (*Mathematical Model Group*) sebagaimana dikembangkan oleh Kansai dan Ogawa (1978). Persamaan lambung kapal, propeler, kemudi serta posisi peletakan propeler masing-masing didasarkan pada persamaan yang dikembangkan Yoshimura and Ma (2003), Kijima *et al.* (2003) dan Insel dan Helvacioğlu (1997). Prediksi koefisien turunan hidrodinamika (*non-linear*) gerak *maneuvering* didasarkan pada persamaan yang dikembangkan oleh Yoshimura and Ma (2003). Prediksi massa tambahan kapal (*added mass*) sebagaimana yang diprediksi Yoshimura (2001).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fungsi kapal perikanan yaitu mengejar dan melingkari jaring (*purse seine*) menjadikan performa *maneuvering* kapal sangat diperlukan. Disamping itu selama operasi kapal perikanan senantiasa mengalami perubahan pemuatan yang bergantung

pada skenario operasi kapal. Gambar 3 menampilkan prediksi kecepatan dan daya motor kapal perikanan pengaruh pemuatan, khususnya penggunaan propeler tunggal ( $P_1$ ) dan propeler ganda asimetrik ( $P_2$ ) pada kondisi muatan penuh ( $K_1$ ) yaitu pada skenario  $K_1-P_1$  dan  $K_1-P_2$  dan kondisi muatan kosong ( $K_2$ ) yaitu skenario  $K_2-P_1$  dan  $K_2-P_2$ .

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi muatan penuh ( $K_1$ ) dengan penggunaan propeler tunggal ( $P_1$ ) atau ganda asimetrik ( $P_2$ ) dengan 100% daya motor ( $P_B=170$  HP) dapat memenuhi kecepatan dinas ( $V_s= 5,53$  m/s), namun pada kondisi muatan kosong ( $K_2$ ) yang hanya memerlukan sebesar 60% daya motor ( $P_B$ ) untuk mencapai kecepatan dinas ( $V_s= 5,53$  m/s) melalui penggunaan propeler ganda asimetrik ( $P_2$ ) lebih efektif dengan hanya meng-fungsikan satu propeler dari dua propeler yang terpasang ( $P_{2-1}$ ). Melalui penggunaan propeler ganda asimetrik, hal ini dapat mengurangi biaya operasi kapal dari jumlah konsumsi bahan bakar motor yang dipergunakan. Hasil perhitungan parameter desain sistem propulsi kapal perikanan penggunaan propeler tunggal ( $P_1$ ) dan propeler ganda asimetrik ( $P_2$ ) pada kondisi muatan penuh ( $K_1$ ) dan juga kosong ( $K_2$ ) sebagaimana sudah ditampilkan pada Tabel 2.



Gambar 3. Prediksi kecepatan dan presentasi penggunaan daya motor.

Tabel 2. Parameter desain sistem propulsi.

| Skenario                    | $K_1-P_1$   |        | $K_1-P_2$ |        | $K_2-P_1$ |           | $K_2-P_2$ |  |
|-----------------------------|-------------|--------|-----------|--------|-----------|-----------|-----------|--|
| Propulsi                    | $P_1$ (Ori) | $P_2$  | $P_3$     | $P_1$  | $P_{2-1}$ | $P_{2-2}$ |           |  |
| Pemuatan                    | Penuh       | Penuh  | Penuh     | Kosong | Kosong    | Kosong    |           |  |
| % Daya                      | 100%        | 60%    | 40%       | 100%   | 60%       | 40%       |           |  |
| Parameter lambung           |             |        |           |        |           |           |           |  |
| $L_{WL}$ (m)                | 24,028      | 24,028 | 24,028    | 22,008 | 22,008    | 22,008    |           |  |
| $B_{WL}$ (m)                | 4,2         | 4,2    | 4,2       | 4,133  | 4,133     | 4,133     |           |  |
| $T$ (m)                     | 1,2         | 1,2    | 1,2       | 0,939  | 0,939     | 0,939     |           |  |
| Disp.(Ton)                  | 65,71       | 65,71  | 65,71     | 46,671 | 46,671    | 46,671    |           |  |
| $V_s$ (m/s)                 | 5,53        | 4,87   | 4,37      | 5,92   | 5,39      | 5,09      |           |  |
| Parameter tahanan           |             |        |           |        |           |           |           |  |
| $R_T$ (N)                   | 10,37       | 7,073  | 5,254     | 12,93  | 8,449     | 7,042     |           |  |
| $x^2$                       | 1,775       | 1,775  | 1,775     | 1,001  | 1,001     | 1,001     |           |  |
| $X$                         | -12,32      | -12,32 | -12,32    | -3,786 | -3,786    | -3,786    |           |  |
| $C$                         | 24,79       | 24,79  | 24,79     | 2,71   | 2,71      | 2,71      |           |  |
| Parameter propeler dan daya |             |        |           |        |           |           |           |  |
| $Z$                         | 3           | 3      | 3         | 3      | 3         | 3         |           |  |
| $D$ (m)                     | 0,8         | 0,8    | 0,6       | 0,8    | 0,8       | 0,6       |           |  |
| $A_e/A_o$                   | 0,40        | 0,30   | 0,35      | 0,40   | 0,30      | 0,35      |           |  |
| $P/D$                       | 0,8         | 0,7    | 0,9       | 0,8    | 0,7       | 0,9       |           |  |
| $W$                         | 0,174       | 0,046  | 0,046     | 0,165  | 0,037     | 0,037     |           |  |
| $T$                         | 0,087       | 0,023  | 0,023     | 0,083  | 0,018     | 0,018     |           |  |
| $V_a$ (m/s)                 | 4,570       | 4,643  | 4,165     | 4,939  | 5,196     | 4,907     |           |  |
| $K_{T-SM}$                  | 1,049       | 0,597  | 0,927     | 1,254  | 0,787     | 1,294     |           |  |
| $J$                         | 0,43        | 0,46   | 0,52      | 0,39   | 0,452     | 0,45      |           |  |
| $K_T$                       | 0,18        | 0,13   | 0,23      | 0,19   | 0,133     | 0,24      |           |  |
| $K_Q$                       | 0,027       | 0,017  | 0,026     | 0,029  | 0,018     | 0,029     |           |  |
| $\eta_o$                    | 0,52        | 0,50   | 0,39      | 0,51   | 0,49      | 0,47      |           |  |
| $n$ (rps)                   | 13,29       | 12,67  | 13,35     | 15,83  | 14,37     | 18,17     |           |  |
| $T$                         | 13,34       | 8,69   | 5,45      | 19,99  | 11,53     | 10,09     |           |  |
| $Q$                         | 1,60        | 0,93   | 0,62      | 2,52   | 1,25      | 1,27      |           |  |
| $P_D$ (Kw)                  | 123,49      | 73,72  | 51,99     | 123,49 | 73,308    | 51,99     |           |  |
| $P_B$ (Kw)                  | 127,30      | 75,99  | 53,61     | 127,30 | 75,99     | 53,61     |           |  |
| $P_B$ (Hp)                  | 170,31      | 101,67 | 71,71     | 170,31 | 101,67    | 71,71     |           |  |

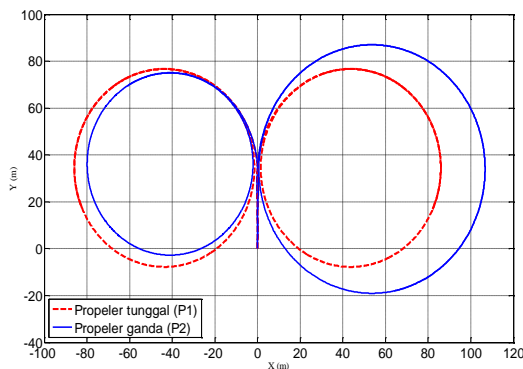
Gambar 4a dan 4b menampilkan performa *turning circle* kapal perikanan tipe *purse-seiner*, khususnya saat melingkari jaring (cikar kiri) antara penggunaan propeler tunggal ( $P_1$ ) dan propeler ganda asimetrik ( $P_2$ ) pada kondisi muatan penuh ( $K_1$ ) yaitu pada skenario  $K_1-P_1$  dan  $K_1-P_2$  dan kondisi muatan kosong ( $K_2$ ) yaitu skenario  $K_2-P_1$  dan  $K_2-P_2$  sebagaimana skenario pada Tabel 2. Hasil simulasi numerik menunjukan bahwa pada pengoperasian kapal dengan peng-

gunaan propeler ganda asimetrik pada kondisi muatan penuh ( $K_1-P_2$ ) dan muatan kosong ( $K_2-P_2$ ) memiliki *tactical diameter* ( $D_T$ ) berturut-turut sebesar 79,91 m dan 78,00 m serta *advance diameter* ( $A_D$ ) sebesar 75,08 m dan 73,06 m. Hasil ini menunjukkan bahwa melalui penggunaan propeler ganda dapat meningkatkan *tactical diameter* ( $D_T$ ) kapal tipe *purse-seiner* berturut-turut sebesar 8% dan 14% serta *advance diameter* ( $A_D$ ) masing-masing 2% dan 6% dibanding jika

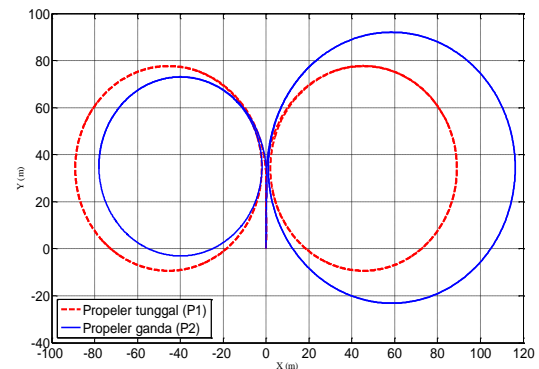
kapal menggunakan propeler tunggal ( $K_1-P_1$  dan  $K_2-P_1$ ). Namun sebaliknya pada saat kapal cekar kanan dengan penggunaan propeler ganda asimetrik telah mengurangi *tactical diameter* ( $D_T$ ) yaitu sebesar -19% dan -23% serta *advance diameter* ( $A_D$ ) masing-masing -12% dan -16% berturut-turut pada muatan penuh ( $K_1-P_2$ ) dan muatan kosong ( $K_2-P_2$ ). Berdasarkan skenario pengoperasian kapal perikanan yang disimulasi, seluruhnya memenuhi ketentuan yang disyaratkan oleh IMO (2002) masing-masing  $D_T < 5 Lbp$  dan  $A_D < 4,5 Lbp$ .

Gambar 5a dan 5b menampilkan performa gerak *zigzag maneuver*  $20^\circ/20^\circ$  kapal perikanan tipe *purse-seiner* antara penggunaan propeler tunggal ( $P_1$ ) dan propeler ganda asimetrik ( $P_2$ ) pada kondisi muatan penuh ( $K_1$ ) dan kondisi muatan kosong ( $K_2$ )

sebagaimana skenario pada Tabel 2. Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa kapal perikanan dengan penggunaan propeler ganda asimetrik pada kondisi muatan penuh ( $K_1-P_2$ ) dan muatan kosong ( $K_2-P_2$ ) terjadi ketidakstabilan antara gerak *zigzag maneuver* kiri dan kanan. Hal ini ditandai dengan perbedaan sudut simpang kapal saat berbelok yaitu masing-masing sebesar 20% dan 9% ( $1^{st}$  overshoot) dan 28% dan 14% ( $2^{nd}$  overshoot) dibanding jika kapal menggunakan propeler tunggal ( $K_1-P_1$  dan  $K_2-P_1$ ). Fenomena ketidakseimbangan antara gerak *zigzag maneuver* kiri dan kanan kapal ini sesuai dengan penelitian Caraddu (2013). Rekapitulasi hasil simulasi *turning circle* dan *zigzag maneuver*  $20^\circ/20^\circ$  ditampilkan pada Tabel 3.

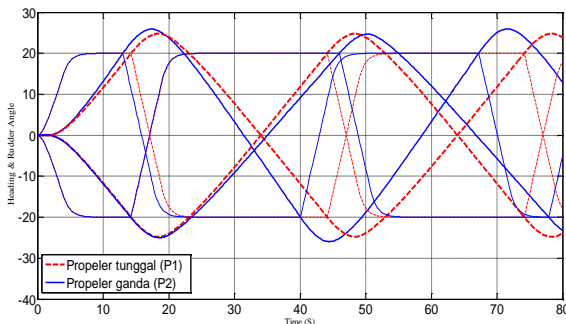


a) *Turning circle* dengan muatan penuh ( $K_1$ )

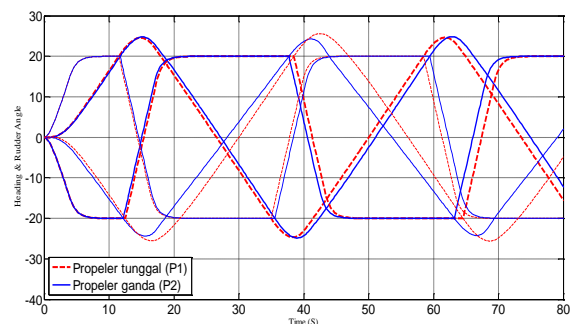


b) *Turning circle* dengan muatan kosong ( $K_2$ )

Gambar 4. Perbandingan *turning circle* antara penggunaan propeler tunggal dan ganda asimetrik.



a) *Zigzag maneuver* dengan muatan penuh ( $K_1$ )



b) *Zigzag maneuver* dengan muatan kosong ( $K_2$ )

Gambar 5. Perbandingan *zigzag maneuver*  $20^\circ/20^\circ$  antara penggunaan propeler tunggal dan ganda asimetrik.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil simulasi *turning circle* dan *zig-zag maneuver 20°/20°*.

| Parameter                        | Kriteria<br>IMO | $K_1-P_1$ |       | $K_1-P_2$ |       | $K_2-P_1$ |        | $K_2-P_2$ |       |
|----------------------------------|-----------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|--------|-----------|-------|
|                                  |                 |           |       | Kiri      | Kanan |           |        | Kiri      | Kanan |
| $D_T$ (m)                        | < 5 L           | 85,95     | 79,91 | 106,69    | 89,03 | 78,00     | 116,24 |           |       |
| $A_D$ (m)                        | < 45 L          | 76,71     | 75,08 | 87,02     | 77,70 | 73,06     | 92,05  |           |       |
| Speed on turning<br>(m/sec.)     |                 | 2,29      | 1,79  | 3,12      | 2,94  | 1,97      | 4,23   |           |       |
| 1 <sup>st</sup> Overshoot (deg.) | < 25°           | 4,79      | 4,93  | 5,90      | 4,59  | 4,39      | 4,77   |           |       |
| 1 <sup>st</sup> Overshoot (sec.) |                 | 18,49     | 18,13 | 17,44     | 14,91 | 15,56     | 15,15  |           |       |
| 2 <sup>nd</sup> Overshoot (deg.) | < 40°           | 4,78      | 4,66  | 5,95      | 4,63  | 4,26      | 4,84   |           |       |
| 2 <sup>nd</sup> Overshoot (sec.) |                 | 48,28     | 50,24 | 44,40     | 38,44 | 41,12     | 39,02  |           |       |
| Speed on zigzag (m/sec.)         |                 | 3,36      | 2,63  | 4,36      | 4,45  | 3,36      | 4,69   |           |       |

#### IV. KESIMPULAN

Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa penggunaan propeler ganda asimetrik sangat menguntungkan kapal perikanan yang beroperasi dengan perubahan pemuatan terhadap pengaturan daya motor yang diperlukan. Penggunaan propeler ganda asimetrik yang dipasang pada bagian pusat sumbu buritan dan sisi kapal mampu meningkatkan *maneuvering* kapal (*turning circle*) ke kiri, namun sebaliknya untuk *turning circle* ke kanan. Selanjutnya pada gerak *zigzag maneuver 20°/20°* melalui penggunaan propeler ganda asimetrik, terdapat sedikit ketidakseimbangan antara *heading* kiri dan kanan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, melalui pendanaan penelitian Penprinas MP3EI Tahun Anggaran 2015. Terima kasih pula khususnya kepada teknisi dan mahasiswa yang tergabung dalam kelompok penelitian bersama pada LBE (*Labo-Based Education*) Propulsi Kapal Universitas Hasanuddin yang telah membantu selama proses pengambilan data dan pemrograman komputer.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abramowski, T. 2005. Prediction of propeller forces during ship maneuvering. *J. Theoretical and Applied Mechanics*, 43(1):57-178.
- Abramowski, T., T. Żelazny, and T. Szlangiewicz. 2010. Numerical analysis of effect of asymmetric stern of ship on its screw propeller efficiency. *J. Polish Maritime Research*, 4(67):13-16.
- Carlton, J.S. 2012. Marine propellers and propulsion. Butter worth-Heineman Ltd. London. 309p.
- Dubbioso, G., B.S. Mauro, and B.M. Viviani. 2013. Analysis of twinscrew ships asymmetric propeller behaviour by means of free running model tests, *J. Ocean Engineering*, 68:47-64.
- Holtrop, J. and G.G.J. Mennen. 1982. An approximate power prediction method, *J. International Shipbuilding Progress*, 29: 166-170.
- Holtrop, J. 1984. A statistical re-analysis of resistance and propulsion data. *J. International Shipbuilding Progress*, 31:272-276.
- Insel, M. and I.H. Helvacioğlu. 1997. Maneuverability analysis of double ended ferries in preliminary design.

- In: Wilson, P.A. (eds.). Eleventh Ship Control Systems Symposium. Southampton, UK. 127–141pp.*
- International Maritime Organization. 2002. Standards for ship manoeuvrability: Report of the Maritime Safety Committee on its seventy-sixth session-annex 6 (Resolution MSC. 137(76)). International Maritime Organization. London. 113p.
- Kijima, K., S. Tanaka., Y. Fukurawa, and T. Hori. 1993. On the prediction of ship manoeuvrability characteristics. *In: Cross, S.J. (eds.). Proceeding of the International Conference of Ship Simulation and Ship Manoeuvrability. Canada. 285-294pp.*
- Kuiper, G. 1992. The wageningen propeller series. Marin. Netherlands. 107p.
- Maimun, A., A.H. Muhammad, and A. Salem. 2004. Development of a simulation program for pusher-barge manoeuvring. *In: Kose, K. (ed.). Proceeding of 9th JSPS Marine Transportation Engineering Seminar, Japan. 1-10pp.*
- Muhammad, A.H., I.K.A.P. Utama, and S.W. Adji. 2001. A design study into the hull and propulsion system matching of 'Minajaya' Fishing Vessel with chine and round bilge hull form. *J. Marine Technology Research of Indonesia*, 1(3):1-12.
- Ogawa, A. and H. Kansai. 1987. On the mathematical model of manoeuvring motion of ship. *J. International Shipbuilding Progress*, 25(292):306-319.
- Rawson, K.J. and E.C. Tupper. 2010. Basic ship theory 2<sup>nd</sup> ed. Oxford Boston. Butterworth-Heinemann. 328p.
- Yoshimura, Y. and Sakurai. 1988. Mathematical model for the manoeuvring ship motion in shallow water (3rd Report). *J. KSN AJ*, 211:115-126.
- Yoshimura, Y. 2001. Investigation into the yaw-checking ability in ship manoeuvrability standard. *In: Kijima, K. (eds.). Proceedings of Prediction of Ship Manoeuvring Performance. Tokyo Japan. 11-19pp.*
- Yoshimura, Y. and N. Ma. 2003. Manoeuvring prediction of fishing vessels. *In: Cross, S.J. (eds.). Proceeding of the International Conference of Ship Simulation and Ship Manoeuvrability. Kanazawa Japan. 793-803pp.*
- Diterima* : 5 September 2016  
*Direview* : 3 November 2016  
*Disetujui* : 2 November 2017