

# ANALISIS PERBANDINGAN PENGUJIAN *TURNING CIRCLE* ANTARA *RUDDER* KONVENSIONAL DENGAN *RUDDER* JENIS *FISHTAIL* PADA MODEL KAPAL *BARGE* DENGAN METODE *OPEN FREE RUNNING MODEL TEST*

Abrari Noor Hasmi<sup>1</sup>, Alamsyah<sup>2</sup>, Muhammad Nuzhand<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Aktuaria, Jurusan Matematika dan Teknologi Informasi

<sup>2,3</sup>Program Studi Teknik Kelautan, Jurusan Sain, Teknologi Pangan, dan Kemaritiman  
Institut Teknologi Kalimantan,

Jl. Soekarno Hatta No.KM 15, Karang Joang, Kec. Balikpapan Utara, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur

Email: [abrari@lecture.itk.ac.id](mailto:abrari@lecture.itk.ac.id)<sup>1</sup>, [alamsyah@lecture.itk.ac.id](mailto:alamsyah@lecture.itk.ac.id)<sup>2</sup>, [09161049@student.itk.ac.id](mailto:09161049@student.itk.ac.id)<sup>3</sup>

## Abstrak

*Turning circle* adalah salah satu uji yang harus dipenuhi oleh kapal dalam menentukan kemampuan *manuver*nya selama berlayar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai *tactical diameter* saat proses *turning circle* dari penggunaan model *rudder* konvensional dan *rudder fishtail*. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *open free running test*. Untuk hal tersebut, dibuat sebuah model kapal yang dilengkapi dengan sistem propulsi dan GPS. Selama eksperimen, kapal dijalankan dengan putaran propulsi yang tetap dan dibelokkan menggunakan *rudder* dengan sudut belok konstan sementara posisi kapal terus menerus disimpan menggunakan GPS. Metode yang digunakan yakni metode eksperimen dengan memvariasikan kecepatan yaitu sebesar 1 mph, 1,5 mph serta 2 mph dengan masing-masing dari kecepatan itu menggunakan variasi sudut belok yang berbeda pula sebesar 10°, 15°, dan 35°. *Turning circle* dibuat menggunakan AutoCAD berdasarkan hasil test. Analisis menunjukkan bahwa *rudder fishtail* memiliki *tactical diameter* yang lebih kecil, yaitu sekitar 18% lebih kecil dibandingkan *rudder* konvensional.

**Kata Kunci:** *Rudder, Turning Circle, Tactical Diameter, Advance*

## Abstract

Turning circle is one of the tests that must be fulfilled by a vessel to determine its manoeuvrability during sailing. This research aims to compare the tactical diameter of the turning circle from the use of a conventional *rudder* model and a fishtail *rudder*. In this research, the open free-running model test is employed. For that purpose, a ship model was built equipped with a propulsion system and GPS. During the experiment, the model ship cruise was propelled with fixed rotational speed then turned with *rudder* whose turning angle was kept fixed while the ship's position was recorded using GPS. The model test was conducted by varying the sailing speed, namely 1 mph, 1.5 mph, and 2 mph with each of the speeds was repeated for different turn angle variations of 10°, 15°, and 35°. The turning circle was reconstructed based on model test data aided by AutoCAD. The analysis has shown that the fishtail *rudder* reduced the tactical diameter approximately 18% compared to the conventional *rudder*.

**Keywords:** *Rudder, Turning Circle, Tactical Diameter, Advance*

## 1. PENDAHULUAN

Kemampuan kapal melakukan *turning circle* / lingkaran putar sangatlah penting, *turning circle* adalah salah satu uji yang harus dipenuhi oleh kapal dalam menentukan *manuver*nya selama berlayar. Dalam hal ini, terdapat beberapa definisi mengenai *turning circle test* baik yang berasal dari *International Towing Tank Conference* maupun menurut *International Maritime Organization*. Pertama, menurut *International Towing Tank*

*Conference (ITTC)* yang dimaksud dengan *turning circle test* adalah suatu bentuk *maneuver* melingkar yang dilakukan dengan arah *port* atau *starboard* dengan sudut kemudi maksimal. Sedangkan menurut *International Maritime Organization* dalam *Resolution MSC.137* [1] mengenai *Standard For Ship Maneuverability* bahwasanya *turning circle maneuver* adalah *maneuver* yang dilakukan dengan arah *port* atau *starboard* dengan sudut kemudi 35° atau sudut maksimum

kemudi yang diizinkan dalam pengujian dengan asumsi rata-rata *yaw* adalah nol.

Sistem propulsi atau penggerak merupakan sistem yang sangat berperan dalam kemampuan gerak suatu kapal. Ditambah kemampuan *rudder*nya untuk mengetahui seberapa kemampuan kapal tersebut bergerak. Secara prinsip, *rudder* memegang peranan penting dalam menentukan kualitas olah gerak kapal disamping bentuk lambung dan jenis propulsi yang digunakan. Profil dari *rudder* sangatlah menentukan karakteristik daya angkat/lift force [2] yang nantinya akan berpengaruh pada kemampuan olah gerak kapal.

Selain tipe *rudder* NACA yang cukup umum dipakai, ada juga tipe *rudder fishtail* yang secara umum memiliki daya angkat yang lebih baik dibandingkan *rudder* NACA. Pada penelitian [3] melakukan investigasi secara mendalam terhadap berbagai parameter dalam desain tipe *rudder fishtail* untuk memperoleh tipe kemudi *fishtail* yang memiliki daya angkat lebih besar. Sedangkan [2] meneliti tentang pengaruh berbagai jenis *rudder* pada kapal KCS menggunakan beberapa jenis *rudder* diantaranya adalah *rudder* NACA dan *fishtail*. Pada penelitian tersebut digunakan simulasi memanfaatkan software komputasi dinamika fluida STAR-CCM+. Meskipun demikian, hanya sedikit eksperimen yang membahas tentang profil *rudder fishtail* [4].

Pada penelitian ini akan dilakukan eksperimen untuk melihat perbandingan *turning circle* kemudi tipe NACA dan *fishtail* terhadap *turning circle*. Eksperimen dilakukan dengan menjalankan kapal pada beberapa variasi kecepatan dan sudut belok sambil merekam posisi kapal dengan GPS untuk masing-masing profil kemudi.

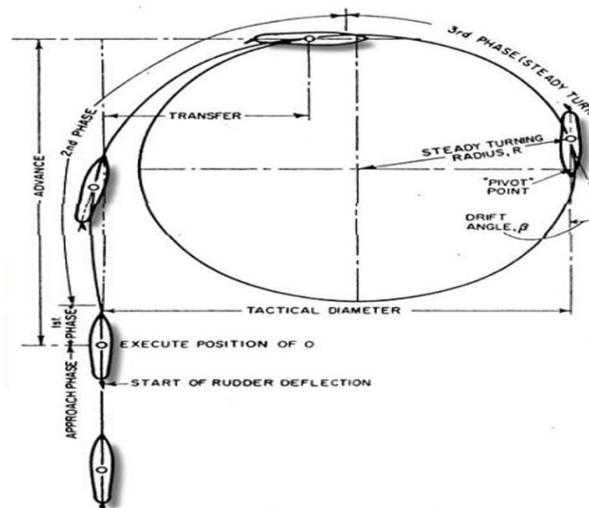
## 2. METODE PENELITIAN

### A. Standar Maneuverability

IMO telah merekomendasikan beberapa kriteria standar untuk *maneuverability* kapal. Kriteria tersebut harus dipenuhi oleh sebuah kapal saat beroperasi baik di perairan yang dalam (*deep water*) maupun di perairan terbatas

atau beroperasi di sekitar pelabuhan atau di perairan yang dangkal (*restricted and shallow water*). Standar *maneuverability* kapal menurut IMO adalah Tactical Diameter  $< 5.0 L$  untuk kapal berbelok dengan sudut belok  $35^\circ$ .

Prosedur pelaksanaan *Turning cycle test* adalah, mulai dari gerak lurus dengan laju konstan, *rudder* dihidupkan dengan kecepatan maksimum ke sudut  $\delta$  (sudut kemudi maksimum) dan tetap pada sudut tersebut, sampai kapal telah melakukan *turning cycle* paling kurang  $540^\circ$ . percobaan dilakukan untuk bagian *port* dan *starboard*. Informasi penting yang diperoleh dari *maneuver* tersebut umumnya yang terdiri atas (Gambar 1):



Gambar 1: Turning Circle Maneuver

Beberapa parameter yang digunakan untuk mendefinisikan kinerja kapal pada saat berputar adalah:

- Drift angle* (sudut *drift*), adalah sudut antara haluan kapal dan arah gerakan. Sudut tersebut bervariasi sepanjang kapal.
- Advanced*, merupakan jarak dari pelaksanaan awal ke sumbu  $x$  pada kapal ketika telah berbelok  $90^\circ$
- The transfer*, merupakan jarak dari jalur ke awal mula kapal ketika sumbu  $x$  pada kapal telah berbelok  $90^\circ$
- The tactical diameter*, merupakan jarak dari jalur awal ke sumbu  $x$  pada kapal ketika kapal telah berbelok  $180^\circ$

- e) *The diameter of the steady turning circle*, diameter dari lingkaran yang terus menerus berputar. Kondisi tetap biasanya dihubungkan pada beberapa titik antara perubahan 90° dan 180° dari perubahan pos.

Nilai-nilai khas adalah *tactical diameter* dari 4,5-7 *L* untuk kapal yang ramping, 2,4-4 untuk kapal pendek dan kapal yang penuh. Menentukan rasio yang ramping  $L/3\sqrt{\nabla}$ , dimana  $\nabla$  adalah volume displacement.

*Turning cycle maneuver* harus dilakukan pada kedua bagian sisi kapal dengan 30° atau sudut maksimum kemudi yang diperbolehkan pada tes kecepatan. Informasi penting yang akan diperoleh dari *manuver* ini adalah *tactical diameter, advanced, and transfer*.

**B. Dimensi Rudder**

Berdasarkan “*RULES FOR HULL*” Vol. II, Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) [5] telah menentukan aturan desain suatu *rudder* agar memiliki kemampuan *manuver* yang baik. Salah satu aturan yang dimuat mengatur tentang luas *mid-plane rudder*. Luas *mid-plane rudder* sebagai berikut :

$$A = \frac{c1 \times c2 \times c3 \times c4 \times 1.75 \times L \times T}{100} \tag{1}$$

Dengan *L* adalah *Lpp* kapal, *T* sarat kapal. Koefisien *c1, c2, c3, c4* adalah secara berurutan faktor tipe kapal, faktor tipe *rudder*, faktor profil *rudder*, dan faktor perencanaan *rudder*

**C. Model Kapal**

Model kapal dibuat dengan bahan dasar triplek dan nantinya dilengkapi dengan sistem propulsi serta modul-modul elektronik untuk merekam posisi kapal. Diantara modul penting yang digunakan adalah modul GPS untuk merekam posisi kapal, modul telemetri untuk mengirimkan posisi kapal ke GCS dan board Pixhawk yang menghubungkan kedua komponen tersebut. Ukuran utama kapal dan juga komponen utama dapat dilihat pada Tabel 2 sedangkan Tabel 3 menampilkan ukuran utama *rudder* yang digunakan.

**Tabel 2** Data Ukuran Utama Kapal dan Jenis Motor

Data Kapal	Keterangan
Type	Barge
LOA	92.2 cm
LPP	80 cm
Breadth	24.5 cm
Depth	10.5 cm
Draft	3.0 cm
Engine	Motor Dinamo Brushless bl 3650 3100 kv
Servo	20 kg

**Tabel 3** Ukuran Utama *Rudder*

Notasi	Komponen	NACA	Fishtail
A[cm <sup>2</sup> ]	Luas penampang rudder	2,745	5,796
c[mm]	Lebar rudder	5	7
b[mm]	Tinggi rudder	142	140
X1[mm]	Lebar bagian bawah rudder	25	30
X2[mm]	Lebar bagian atas rudder	30	30

**D. Pengambilan Data**

Setelah semua komponen dicek berfungsi dengan baik, maka dilakukan eksperimen pengujian *turning circle*. Setelah menghubungkan modul telemetri dengan perangkat lunak Mission Planner sebagai GCS (*Ground Control Station*), maka pengujian dapat dimulai. Eksperimen dilaksanakan dengan menjalankan kapal lurus dengan kecepatan stabil, lalu diikuti dengan memutar *rudder* dengan sudut belok konstan. Sudut belok yang digunakan adalah 10°, 15° dan 35°, masing-masing untuk kecepatan 1mph, 1.5 mph dan 2 mph. Eksperimen diulang untuk sudut putaran arah *port* dan *starboard*.

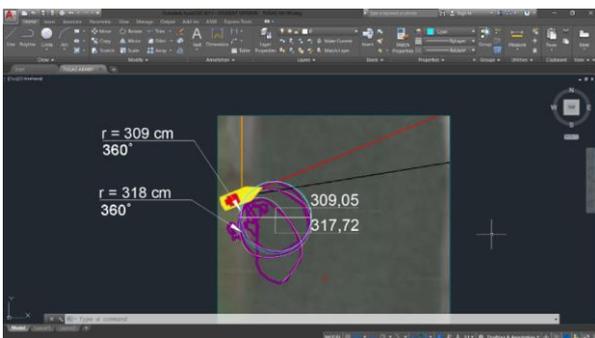


Gambar 2 : Pengujian Model Kapal

E. Pengolahan Data

Setelah dilakukan eksperimen, logfile yang diperoleh perlu diolah untuk dapat menentukan *tactical diameter* pada masing-masing kasus. Setelah dilakukan eksperimen, diamati bahwa garis-garis *turning circle* yang tercipta tidak secara sempurna membentuk lingkaran. Ada beberapa kemungkinan penyebab hal ini, diantaranya karena pengujian dilakukan ditempat terbuka sehingga ada pengaruh angin berupa arus maupun tekanan kepada kapal yang tidak seragam selama kapal bermanuver. Selain itu, ada kemungkinan pula ketidakakuratan GPS dan juga frekuensi pengambilan data yang terlalu sedikit untuk benar-benar membentuk lingkaran.

Menimbang hal tersebut, maka rekaman *turning circle* pada *mission planner* perlu dipermulus untuk membentuk *turning circle* menggunakan *software* AutoCAD. Mula-mula titik-titik yang terekam pada GPS dipermulus menggunakan perintah *SPLINE*, lalu dibentuk lingkaran menggunakan perintah *CIRCLE* pada autocad. Contoh pengolahan gambar dapat dilihat pada Gambar 3.



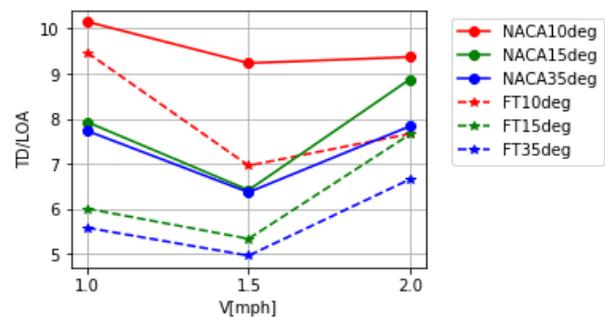
Gambar 3 : Menambahkan "CIRCLE"

Setelah dilakukan pengolahan data, data direkap untuk semua percobaan. Mengingat kemungkinan adanya ketidakpastian dalam percobaan, misalnya pengaruh gangguan berupa arus ataupun ketidakpastian dalam rekonstruksi *turning circle*, maka hasil *turning circle* yang ditampilkan disini merupakan rata-rata untuk eksperimen pada arah *port* dan *starboard*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data *tactical diameter* untuk masing-masing jenis *rudder*, kecepatan dan sudut belok dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 4. Pada tabel dan gambar tersebut *tactical diameter* telah dibuat tak berdimensi dengan membagikan nilainya dengan LOA (Tabel 2).

Tabel 4 dapat diamati bahwa secara umum diameter *turning circle* akan menjadi lebih kecil seiring dengan bertambahnya sudut belok. Rentang penurunan *Tactical diameter* antara sudut sudut putaran kendali 10° dengan 35° berkisar antara 13%-41% untuk kedua jenis kemudi. Hal ini dapat dijelaskan dengan bertambahnya lift seiring dengan bertambahnya sudut belok.



Gambar 4 : *Tactical diameter* dibagi LOA untuk kemudi tipe NACA dan *fish tail* untuk variasi kecepatan dan sudut belok

Hal yang tidak terduga dalam eksperimen ini adalah adanya *tactical diameter* selalu menurun dari kecepatan 1 ke 1.5 mph, namun selalu naik pada kecepatan 1.5 mph ke 2 mph untuk semua sudut dan semua jenis kemudi. Hal ini mungkin disebabkan oleh meningkatnya

juga hambatan kapal dan juga kemudi seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal / putaran *propeler* kapal.

Perbandingan antara hasil eksperimen menggunakan kemudi NACA dan *fishtail* menunjukkan bahwa untuk sudut belok dan kecepatan yang sama, *tactical diameter* pada kemudi *fishtail* secara konsisten menunjukkan nilai diameter yang lebih kecil. Hal ini dapat dijelaskan dengan daya angkat yang lebih besar pada kemudi *fishtail* dibandingkan *rudder* NACA sebagaimana yang ditunjukkan oleh penelitian [2], [3]. Dari pengolahan Tabel 4, diperoleh bahwa rata-rata penurunan *tactical diameter* adalah 18.78% dengan simpangan baku sekitar 6.18%. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi pengurangan yang signifikan *tactical diameter* akibat dari penggunaan kendali *fishtail*.

Melihat secara kualitatif hasil dari *turning circle* baik pada *rudder* NACA maupun *fishtail*, terlihat bahwa diameter *turning circle* selalu lebih besar dibandingkan ambang batas 4.5L yang disyaratkan oleh *IMO*. Nampaknya bentuk lambung yang digunakan, yaitu barge, menjadi penyebab utama tidak begitu memuaskan nilai *tactical diameter* yang diperoleh. Pada penelitian lain, misalkan [2] yang menggunakan kapal kontainer KRISO, diperoleh nilai *tactical diameter* tidak lebih dari 3.3 untuk tipe kendali NACA yang sesuai dengan kriteria *IMO*. Untuk itu mungkin bisa pula dilakukan eksperimen lain menggunakan tipe lambung yang berbeda.

**Tabel 4** *Tactical diameter* dibagi LOA untuk kemudi tipe NACA dan *fishtail* untuk variasi kecepatan dan sudut belok

Jenis Rudder	Sudut Belok	Kecepatan		
		1	1.5	2
NACA	10	10.152	9.2354	9.3709
	15	7.9284	6.4208	8.8774
	35	7.7332	6.372	7.8362
Fishtail	10	9.4685	6.9631	7.6681
	15	6.00867	5.34164	7.65726
	35	5.58568	4.96746	6.65943

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil eksperimen yang diperoleh terlihat bahwa kemudi dengan profil *fishtail* memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan kemudi NACA. Diameter *turning circle* yang diperoleh menggunakan kemudi *fishtail* lebih kecil sekitar 18% dibandingkan kemudi NACA. Hal ini menjadikan *rudder fishtail* bisa dipertimbangkan menjadi alternatif apabila diinginkan efektifitas kemudi yang lebih efisien.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, terlihat bahwa secara prinsip perekaman eksperimen *turning circle* menggunakan GPS dapat dijadikan pilihan dalam kondisi tidak adanya kolam tarik yang memadai. Meskipun demikian, ada beberapa kendala yang seharusnya diantisipasi untuk memperoleh hasil yang dapat diandalkan diantaranya adalah penggunaan GPS yang memiliki frekuensi perekaman data yang lebih sering sehingga diperoleh aproksimasi *turning circle* yang lebih baik. Selain itu metode pengolahan data bisa lebih sistematis lagi khususnya untuk mengurangi ketidakpastian serta subjektivitas dalam penentuan *turning circle*.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkab banyak terima kasih kepada ITK yang telah memberikan dukungan, baik materiil maupun non materiil.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. M. Organization, “MSC.137(76), ANNEX 6,” 2002.
- [2] A. Hasanvand, A. Hajivand, and N. Ale ali, “Investigating the effect of *rudder* profile on 6DOF ship turning performance,” *Appl. Ocean Res.*, vol. 92, p. 101918, 2019.
- [3] T. Van Nguyen and Y. Ikeda, “Development of *Fishtail Rudder*

Sections with Higher Maximum Lift Coefficients,” *The Twenty-fourth International Ocean and Polar Engineering Conference*. International Society of Offshore and Polar Engineers, Busan, Korea, p. 8, 2014.

- [4] J. Liu and R. Hekkenberg, “Sixty years of research on ship *rudders*: effects of design choices on *rudder* performance,” *Ships Offshore Struct.*, vol. 12, no. 4, pp. 495–512, May 2017.
- [5] BKI, “Vol II ‘RULES FOR THE CLASSIFICATION AND CONSTRUCTION,’” Jakarta, 2014.