

ANALISA DAN EVALUASI FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KARAKTERISTIK OLAH-GERAK (MANEUVER) KAPAL

Andi Jamaluddin^{*)}

Samudro^{**)}

Peneliti UPT Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika, BPPT, Surabaya.

Peneliti Pusat Teknologi Industri dan Sistem Transportasi- BPPT, Jakarta.

ABSTRACT

The past decade has witnessed a rapid growth of interest in the development of fast catamaran for various applications. The paper describes the study of interference resistance components on demihull separation. Catamarans or twin-hull vessels may be formed either by connecting two symmetrical demihulls or by splitting a mono hull into two halves to form two asymmetric demihulls. The slenderbody method in Hull Speed- Maxsurf Program was used for predicting the resistance components. The method assumes that the ship's beam is small compared to its length. Effect of resistance interference components on catamaran hull separations are explained and discussed with some work from other published data, which shows good agreement.

Keywords : Turning circle, zig-zag, ship, trim, speed.

PENDAHULUAN

Perancangan suatu kapal dapat dikatakan layak dan aman apabila kapal tersebut memiliki korelasi hambatan dan kecepatan yang optimal, tingkat kestabilan yang tinggi dan kemampuan olah gerak (manuver) yang baik. Kaidah-kaidah kestabilan dan olah gerak kapal disajikan dalam peraturan-peraturan yang ada, baik nasional maupun internasional. Perihal kaidah maneuvering kapal, regulasi IMO (*International Maritime Organization*) yang disebut "*Standard for Ship Maneuverability*" hendaknya dipenuhi pada saat perancangan dan operasional kapal.

Kemampuan manuver kapal (*ship maneuverability*) merupakan salah satu hal yang esensi dan penting untuk diperhatikan karena menentukan keselamatan kapal di perairan (laut), terutama di daerah pelayaran yang sempit seperti di area pelabuhan. Laporan kecelakaan (tabrakan,

serudukan) kapal dari beberapa institusi di dunia menunjukkan bahwa sepertiga dari kasus kecelakaan tersebut karena lemahnya kemampuan olah gerak (manuver) kapal atau rendahnya kinerja sistem kemudi kapal, seperti kapal tidak dapat menghindari secara cepat dan tepat terhadap kapal atau struktur apung lainnya yang berjarak relatif dekat didepannya.

Karakteristik manuver kapal sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor eksternal (kondisi lingkungan): angin, arus laut, kedalaman air dll, dan factor internal (kapal): kondisi muatan kapal, mesin (propeller), dan kemudi. Kemudi sangat berperan pada kapal dalam melakukan manuver (olah gerak) di perairan. Sehingga saat ini telah banyak ditemukan inovasi desain kemudi kapal yang dapat meningkatkan performa olah gerak kapal.

Sebuah kapal harus dapat merespon secara akurat untuk beragam pola manuver

di laut atau di pelabuhan, termasuk menghindari kapal lain, merapat di dermaga, dll. Kinerja manuver kapal biasanya di periksa dalam tahapan desain, dan khususnya pada tahap kapal selesai dibangun yakni pada pelaksanaan seatrial. Pada tahapan desain kapal, terkadang dilakukan uji model fisik (di kolam uji) atau komputasi numerik untuk mengetahui karakteristik olah gerak kapal di atas air. Hasil uji model fisik (*physical model testing*) memberikan hasil yang lebih reliabel, rasional dan akurat dibanding dengan semua metode komputasi yang ada.

Perihal pengujian olah gerak pada skala model fisik, dapat dilakukan dengan dua metode yaitu: "*free-running test*" dimana model bergerak dengan sistem propulsi sendiri (dengan bantuan alat kontrol elektronik) dan "*captive test*" dimana model tidak bergerak bebas (kaku) dan digerakkan dengan bantuan unit per-alatan ukur seperti alat HPMM (Hydrolic Planar Motion Mechanism) dan *Rotating Arm*. Metode *captive test* dapat dianggap sistem pengujian yang lebih analitis dari pada metode *free-running test*. Metode *captive test* menghasilkan/memberikan koefisien hidrodinamik langsung sehingga performa manuver kapal didasarkan dan dihitung dengan menggunakan model matematika dari koefisien hidrodinamika yang diperoleh dari hasil pengujian. Sedangkan metode *free-runinnng test* menghasilkan/memberikan visualisasi performa manuver kapal secara langsung yang mirip dengan perilaku manuver kapal sebenarnya sehingga metode ini dianggap lebih intuitif dari pada metode *captive test*.

KAJIAN PUSTAKA

A. Olah Gerak (Manuver) Kapal

Maneuverability (atau *Manoeuvrability*) adalah identik dengan kata *Controllability*,

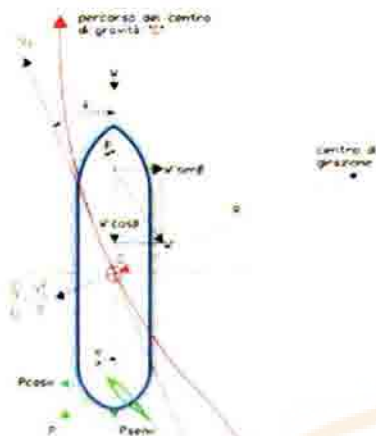
yang dapat didefinisikan sebagai kualitas kapal dalam mengontrol kemudi (atau alat gerak bantu lainnya baik *fixed* maupun *movable*) untuk merespon dan mengendalikan arah, kecepatan dan kinerja pergerakan kapal.

Hubungan gerakan arah laju kapal terhadap sudut kemudi dapat dilihat pada gambar 1 yang menjelaskan bahwa gaya P yang dihasilkan tegak lurus terhadap bidang kemudi. Komponen gaya *longitudinal* dari P , yang dihasilkan oleh kemudi, $P \sin \alpha$, adalah gaya yang searah dengan hambatan (*drag*) kapal sebagai gaya yang melawan dan, oleh karena itu, kapal mengalami perlambatan kecepatan. Komponen gaya lateral, $P \cos \alpha$, memberikan gerakan lateral pada kapal dan juga memberikan *couple* gaya yang mengatasi momen inersia massa kapal. Pada awalnya, $P \sin \alpha$ adalah gaya yang dominan sehingga kapal cenderung bergerak ke kiri jika kemudi digerakkan ke arah kanan.

Pada tahap kedua, sebagai konsekuensi dari gerakan ke kiri, yang terjadi pada tahap pertama, maka kapal mulai melakukan rotasi awal, gaya tarik (*drag*) W kapal yang awal bekerja pada bidang longitudinal, secara bertahap berubah menjadi $drag\ W'$ dalam sudut β bidang longitudinal. Komponen gaya longitudinal $W' \cos \beta$, bersama dengan gaya $P \sin \alpha$ akan memperlambat gerak maju kapal, dan komponen gaya melintang $W' \sin \beta$ melawan gaya $P \cos \alpha$, sehingga kapal terdorong ke arah kiri, sebagaimana yang terjadi pada tahap pertama.

Karakteristik olah gerak (manuver) kapal dapat dibagi dalam beberapa bagian sbb:

1. *Turning circle test* adalah menentukan kemampuan gerak lintasan berputar kapal



Gambar 1. Gerakan arah laju kapal terhadap sudut kemudi

2. *Pull-out tests* adalah menentukan kemampuan kestabilan pergerakan arah (lintasan) kapal
3. *Zig-zag tests* adalah menentukan kemampuan gerak kapal dalam melakukan perubahan arah (lintasan).
4. *Reversed spiral tests* adalah mendapatkan informasi detail tentang kestabilan dinamis arah (lintasan) kapal.

Hasil pengujian model kapal harus dibandingkan dan mengacu pada standar kriteria manuever yang disyaratkan oleh IMO, *Interim Standard for Ship Maneuvrability- Resolution A 751, 1993*, dimana:

1. *Turning ability at 35 deg. rudder angle:*
 - a. Lintasan Advance tidak boleh lebih 4.5 dari panjang kapal (L_{pp}), dan
 - b. Tactical diameter tidak boleh lebih 5.0 dari panjang kapal (L_{pp}).
2. Yaw Checking dan course keeping ability
 - a.. *First overshoot angle* untuk zig-zag 10/10, tidak boleh lebih:
 - 1) 10 deg., jika $L_{pp}/V < 10$ sec.
 - 2) 20 deg, jika $L_{pp}/V > 30$ sec.

3) $(5+ L_{pp}/V/2)$ deg, jika $L_{pp}/V = 10$ sampai 30 sec.

- b. *Second overshoot angle* untuk zig-zag 10/10, tidak boleh lebih nilai *first overshoot*.
- c. *First overshoot angle* untuk zig-zag 20/20, tidak boleh lebih 25 deg.

Teori dan persamaan matematik olah gerak (manuver) kapal dan standar kriteria manuever IMO dibahas secara sistematis oleh Journee dan Pinkster, 2002.

B. Model dan Pengujian Olah Gerak (Manuver)

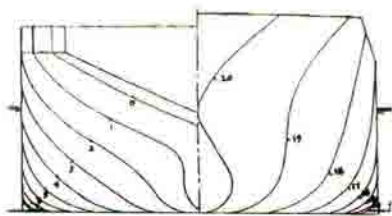
Pengujian olah gerak kapal melalui skala model fisik di kolam uji hidrodinamika atau melalui *seatrial-test* skala penuh (*prototype*) adalah suatu metodologi yang rasional dan akurat. Metode pengujian tersebut memberikan hasil nyata yang dapat diimplementasikan secara langsung.

Berikut uji model fisik di kolam uji hidrodinamika dibahas dengan sistimatis untuk memberikan gambaran dan pengetahuan tentang karakteristik olah-gerak (manuver) kapal dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

Dimensi Model Kapal.

Model kapal terbuat dari kayu dengan skala 1: 45. Model kapal dilengkapi dengan baling-baling tunggal, dan kemudi konvensional tunggal. Luas bidang lateral kemudi 2% dari $(L_{pp} \times T)$ kapal. Arah putaran baling-baling *left handed propeller*.

Gambar 2 memperlihatkan *body plan* kapal dan tabel 1 menyajikan dimensi utama kapal dan ukuran baling-baling yang digunakan dalam pengujian.



Gambar 2. Body plan kapal

Tabel 1. Ukuran utama kapal dan baling-baling

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Lpp	m	167.00
2	B	m	28.00
3	Tf	m	10.30
4	Ta	m	10.30
5	$\emptyset$	tf	39.632
6	KG	m	8.25
7	LCB	m	4.35
8	GM	m	3.50
9	IT	s	12.00
10	D	m	5.00
11	PO.7/D	-	0.761
12	Ae/A ₀	-	0.605
13	Z	-	5

Pengukuran dan Pengolahan Data

Pengukuran bidang horizontal x (*surge*) - y (*sway*) dapat dilakukan dengan alat ukur optical (*camera*) tracking sistem. Pada titik tengah midship model kapal diletakkan lampu (*laser*) agar camera dapat mengikuti jejak (lintasan) serta mendeteksi setiap pergerakan model. Gambar 3 memperlihatkan *set-up* model di kolam uji.



Gambar 3. Pengujian olah gerak (maneuver) kapal

Hasil pengujian turning circle dipresentasikan dalam bentuk tabel dan grafik dalam satuan unit *prototype*, dengan mengacu pada hukum kesamaan Froude (*Froude's law of similitude*).

Hukum kesamaan '*Froude number*' diaplikasikan untuk mendapatkan nilai *prototype* pada skala model = 1:45, lihat tabel 2.

Model kapal digerakkan dengan bantuan alat *radio control* dan *autopilot*, kemudian sinyal pengukuran yang terekam selama pengujian berlangsung di transmit melalui *radiograph* ke *receiver* (penerima data).

Tabel 2. Faktor skala model

Parameter	Faktor skala	Model
Length	$\emptyset$	45
Time, Speed	$\emptyset\emptyset$	6.71
Angle	1	1
Rate of turn	$\frac{1}{100\emptyset}$	0.15

Program dan Prosedur Pengujian

Pengujian model kapal dilakukan dengan metode *free-running* (bergerak bebas). Kecepatan model dicapai dengan mengatur putaran *propeller* (RPM) dan kecepatan model disesuaikan dengan kecepatan kapal (dengan mengacu pada *Froude's law similitude*).

Pengujian model dilakukan dengan variasi sarat air (kondisi muat) dan kecepatan terhadap variasi sudut kemudi. Pengujian model terdiri dari *Turning Circle Tests*/ *Pull-Out Tests*, *Reversed Spiral Tests*, dan *Zig-Zag Tests*, dimana detail program pengujian model dipresentasikan pada tabel 3 a - c.

Tabel 3.a. Turning circle tests/ pull-out tests

No	Initial Speed (knots)	Draft Ta/Tf (meters)	Rudder Angle	
			Portside (degrees)	Starboard (degrees)
1	15.4	10.30/10.30	35; 25; 15	15; 25; 35
2	15.4	11.20/9.40	35; —; 15	15; —; 35
3	7.0	10.30/10.30	35; —; —	15; —; 35
4	7.0	9.85/10.75	35; —; —	15; —; 35

Tabel 3.b. Reversed spiral tests

No	Initial Speed (knots)	Draft Even Keel (meters)	Rudder Angle Between : (degrees)
1	7.0	10.30	15 (PS) - 15 (SB)

Tabel 3.c. Zig-zag tests

No	Initial Speed (knots)	Draft Ta/Tf (meters)	Ratio of rudder angle dan course check angle (degrees/degrees)
1	15.40	10.30/10.30	20/20 ; 10/10
2	15.40	9.85/10.75	20/20 ; 10/10
3	15.40	11.20/9.40	20/20 ; ---/---
4	7.00	10.30/10.30	20/20 ; 10/10
5	7.00	9.85/10.75	---/--- ; 10/10
6	7.00	11.20/9.40	---/--- ; 10/10

Prosedur pengujian olah gerak (manuver) kapal dapat diuraikan sebagai berikut:

Dalam pengujian gerakan putar (*turning circle*) kapal di kolam uji hidrodinamika, putaran propeller pada model kapal diatur sedemikian rupa hingga mencapai gaya dorong dan kecepatan model yang telah ditentukan. Kemudian model kapal akan berakselerasi dan melaju hingga mencapai kecepatan yang dikehendaki. Bila kecepatan telah mencapai kecepatan uji maka akselerasi menjadi nol, dan pengukuran dapat mulai dilakukan.

Berselang beberapa waktu, kemudi model kapal bergerak pada sudut yang telah ditentukan dan model kapal mulai berputar. Saat model kapal mulai berputar, putaran propeller dan sudut kemudi tetap konstan sampai beberapa putaran tercapai (dalam hal ini minimal 2 putaran). Bila dua putaran atau lebih sudah tercapai maka pengujian dapat dihentikan.

Selama pengujian dilaksanakan, sinyal pengukuran direkam secara terus-menerus kedalam perangkat penyimpang data.

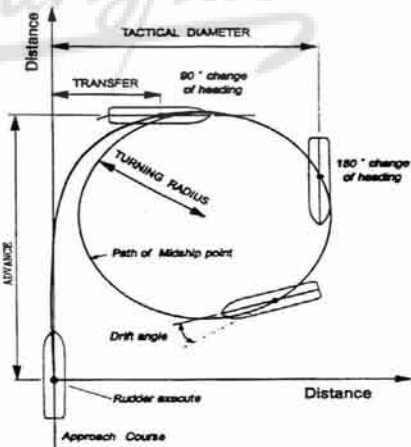
Parameter sinyal yang diukur adalah sebagai berikut:

- rudder angle (δ).
- heading angle (Y)
- rate of change of heading ($\dot{Y}$)
- propeller RPM.
- path travelled
- angle of heel (bila diperlukan).

Pada pengujian zig-zag: setelah tercapai kecepatan di set konstan pada sudut kemudi nol derajat, maka kemudi digerakkan dengan sudut (10/10, 20/20) yang diinginkan dan tetap sampai kapal berbelok pada sudut yang sama dan kemudian sudut kemudi digerakkan kearah yang berlawanan dengan sudut kemudi yang sama. Selanjutnya diulang untuk mendapatkan lintasan zig-zag yang cukup.

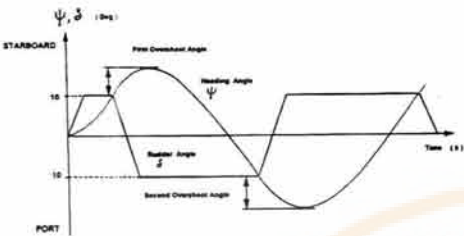
Parameter sinyal yang diukur adalah sebagai berikut:

- max rate of turn
- over shoot angle
- overshoot time
- period
- 2nd execute time



Gambar 4. Lintasan gerak putar (*turning circle trajectory*) kapal

Signal-signal tersebut di transmit melalui *radiograph* ke *receiver* (penerima data). Berikut ini digambarkan bentuk kurva lintasan gerakan *turning circle* dan zig-zag kapal terhadap waktu dan beberapa parameter ukurnya, lihat gambar 4 dan 5.



Gambar 5. Zig-zag trajectory

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Combined Turning Circle/ Pull-Out Tests.

Hasil uji kombinasi *turning circle/ pull-out tests* disajikan pada tabel 4 untuk berbagai kecepatan dan kondisi sarat air (pemuatan), lihat tabel 3 a. Hasil uji juga disajikan dalam bentuk kurva (lintasan) seperti pada gambar 5 a – c untuk mengetahui pengaruh kondisi trim (pemuatan) terhadap performa olah gerak kapal.

Tabel 4. Turning circle diameters (non-dimensionalized: diameter/Lpp)

Turning Circle Diameters						
Draft Ta/Tf (meters)	Rudder angle (degrees)					
	Portside (PS)			Starboard (SB)		
	35 deg	25 deg	15 deg	15 deg	25 deg	35 deg
Ship's speed : 15.4 knots						
Even keel: 10.30/10.30	1.74	2.35	3.75	2.39	2.21	1.63
Trim by stern: 11.20/9.40	1.83	---	3.98	3.59	---	1.74
Ship's speed : 7.0 knots						
Even keel: 10.30/10.30	1.89	---	---	3.31	---	1.69
Trim by bow: 9.89/10.75	1.77	---	---	3.04	---	1.48

Berikut dijelaskan faktor faktor yang mempengaruhi performa olah gerak kapal:

Kondisi Even Keel

Kondisi *even keel* adalah kondisi dimana sarat air pada stern dan pada bow sama besar, Draft Ta=Tf. Pengujian pada kondisi *even keel* tersebut memperlihatkan hubungan sudut kemudi dengan diameter lintasan putar (*turning diameter*) kapal yang dihasilkan.

Hasil uji memperlihatkan bahwa semakin besar sudut kemudi (*rudder angle*) maka semakin kecil diameter lintasan putar (*turning diameter*) kapal. Kecenderungan ini diakui tidak hanya memperkecil *turning diameter* kapal, tetapi juga secara otomatis memperkecil nilai lintasan *advance* dan *transfer* kapal. Pengaruh sudut kemudi terhadap kemampuan gerak lintasan putar (*turning ability*) kapal ditampilkan pada tabel 4.

Dari hasil evaluasi pengujian *turning circle*, dapat dikemukakan bahwa bila sudut kemudi bertambah besar maka akan menghasilkan gaya angkat (*lift*) yang besar pula, sehingga dengan fenomena ini mengakibatkan nilai lintasan *turning diameter*, *advance* dan *transfer* kapal menjadi kecil, baik untuk arah starboard (SB) maupun arah portside (PS). Detail hasil uji dapat dilihat pada Tabel 5 dan 7 untuk kondisi *even keel*.

Perubahan Kecepatan

Hubungan antara diameter lintasan putar (*turning diameter*) dan kecepatan kapal dapat dilihat dari hasil uji, pada Tabel 4 (kondisi *even keel*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi perubahan diameter lintasan putar (*turning diameter*) dengan perubahan kecepatan, dimana

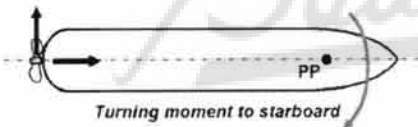
semakin kecil kecepatan kapal maka semakin besar diameter lintasan putar (*turning diameter*) kapal. Kemudian semakin besar sudut kemudi semakin kecil perbedaan diameter lintasan putar (*turning diameter*) kapal.

Hal yang sama juga diperlihatkan pada parameter ukur lainnya seperti nilai lintasan *Advance*, *Transfer* dan waktu yang diperlukan oleh kapal untuk menempuh satu putaran (*Turning circle time*), sebagaimana yang dipresentasikan pada tabel 5 dan 8.

Arah Putaran Baling-Baling

Performa gerak lintasan putar (*turning ability*) kapal dipengaruhi oleh arah putaran baling-baling kapal. Hasil pengujian memperlihatkan perbedaan karakteristik gerak lintasan putar (*turning circle*) ke arah starboard (SB) dan ke arah portside (PS) dengan arah putaran propeller yang *left handed propeller*.

Perbedaan performa gerak lintasan putar (*turning ability*) tersebut disebabkan oleh aliran (*wake*) yang tidak seragam (*non-uniformmity*) dibelakang lambung kapal (*pudder position*) dan efek aliran air akibat putaran propeller (*propeller stream*) ke kemudi kapal.



Gambar 6. Putaran baling-baling dan momen trim

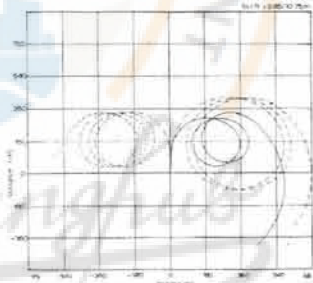
Kecenderungan kapal yang memiliki baling-baling tunggal (*single screw*) dengan arah putaran *left handed propeller* adalah lebih mudah berputar ke arah kanan (*starboard*). Dari hasil pengujian, memperlihatkan bahwa diameter lintasan putar (*turning diameter*) ke arah *starboard* (SB) lebih kecil 8% dibanding arah *portside* (PS).

Perubahan Kondisi Trim

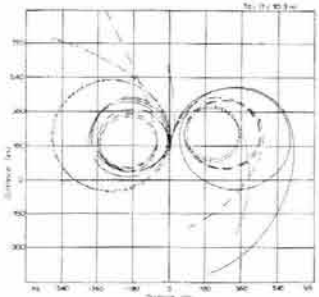
Performa gerak lintasan putar (*turning ability*) kapal sangat dipengaruhi oleh kondisi trim kapal (sarat air pada stern dan pada bow tidak sama besar). Karakteristik lintasan putar: *turning diameter*, *advance* and *transfer* berubah signifikan dengan perbedaan kondisi trim kapal. Pengaruh tersebut diperlihatkan pada tabel 4 dan secara grafik dapat dilihat pada gambar 7a – c.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *trim by stern* memberikan diameter lintasan putar (*turning diameter*) yang lebih besar jika dibandingkan dengan diameter lintasan putar pada kondisi *even keel*. Sedangkan kapal pada kondisi *trim by bow* menghasilkan diameter lintasan putar yang lebih kecil jika dibandingkan dengan diameter lintasan putar pada kondisi *even keel*.

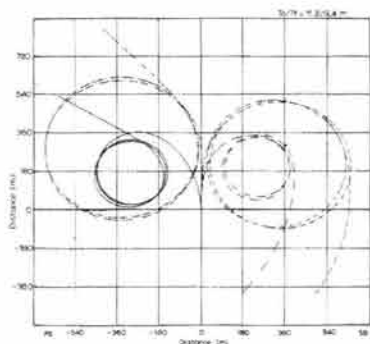
Evaluasi pengujian performa gerak lintasan putar (*turning ability*) kapal menjelaskan bahwa kapal dengan kondisi pemuatan *trim by bow* akan menghasilkan kinerja gerak lintasan putar yang lebih baik.



Gambar 7 a. Result of turning circle (trim by the bow)



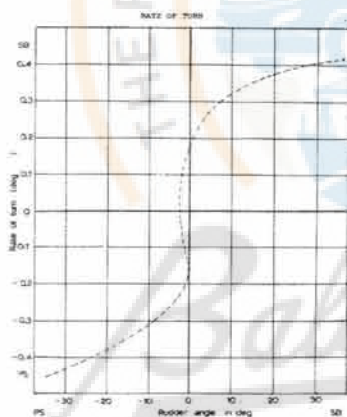
Gambar 7 b. Result of turning circle (even keel)



Gambar 7 c. Result of turning circle (trim by the stern)

B. Reversed Spiral Tests.

Pengujian *reversed spiral* guna mendapatkan informasi detail tentang kestabilan dinamis arah (lintasan) kapal. Analisa pengujian *reversed spiral* dapat diketahui melalui hasil pengukuran uji kombinasi *turning circle/ pull-out tests* yang disajikan pada tabel 5 - 7 dan gambar 8.



Gambar 8. Hasil pengukuran uji reversed spiral

Pengujian *reversed spiral* dilakukan pada kondisi *even keel* dengan kecepatan kapal 7 knots (*prototype values*), lihat Tabel 3 b. Hasil pengukuran disajikan pada Gambar 7, dimana memperlihatkan bahwa pada saat kapal melakukan gerak lintasan putar (*turning circle*) dan sudut kemudi dikembalikan pada posisi stabil (sudut kemudi= nol derajat) terdapat *residual rate*

of turn. Hal ini mengindikasikan kapal dalam keadaan *slightly dynamical course unstable*, dimana *width of the loop* sebesar 2 derajat.

C. Zig-Zag Tests

Pengujian zig-zag guna mengetahui kemampuan gerak kapal dalam melakukan perubahan arah (lintasan). Dalam pengujian ini dilakukan pada beberapa variasi kecepatan dan kondisi sarat air (pemuatan), lihat tabel 3 c.

Hasil tes ini untuk berbagai kecepatan dan kondisi draft tersebut disajikan pada tabel 9 dan 10.

Table 9. Hasil uji zig-zag, initial speed: 15.4 knots

Parameter	Nilai			
Ta/Tf	10.3/10.3	11.2/9.4	9.85/10.7	
$\delta / \%$	10 / 10	20 / 20	20 / 20	10 / 10
Max r.t	0.30	0.42	0.49	0.39
O.s. angle	13.3	12.3	8.07	17.90
O.s. time	99.60	66.80	66.40	126.15
2nd Period	534	483	463	617
execute	71.80	75.80	67.20	63.10

r.t : rate of turn

o.s : over shoot

Table 10. Hasil uji zig-zag, initial speed: 7 knots

Parameter	Nilai			
Ta/Tf	10.3/10.3	11.2/9.4	9.85/10.75	
$\delta / \%$	10 / 10	20 / 20	20 / 20	10 / 20/20
Max r.t	1	2	0.74	1
O.s. angle	0.70	0.85	15.00	0.71
O.s. time	18.30	17.10	31.50	22.90
2nd Period	62.70	35.20	239	68.10
execute	289	252	37.6	323
	28.9	35.6		36.9

Kondisi Even Keel

Hasil pengujian zig-zag yang diperlihatkan pada Tabel 9 -10, nilai *overshoot angle* pada kondisi *even keel* dapat dirangkum pada tabel 11 yang menyajikan hasil pengukuran pada kecepatan 7 dan 15.4 knots pada sudut kemudi 10/10 dan 20/20. Demikian halnya nilai *overshoot time* untuk sudut kemudi 10/10 lebih besar.

Tabel 11. Nilai overshoot angle

$\delta / ^\circ$	Overshoot angle (degrees)	
	Speed = 7 knots	Speed = 15,4 knots
10/10	18.30	13.30
20/20	17.10	10.30

δ : rudder angle
 $^\circ$: course check angle

Perubahan Kecepatan

Pengaruh *overshoot angle* terhadap kecepatan kapal dapat dilihat pada Tabel 11. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi perubahan nilai *overshoot angle* dengan berubahnya kecepatan kapal, dimana semakin besar kecepatan kapal maka semakin kecil nilai *overshoot angle* kapal.

Perubahan Kondisi Trim

Performa olah gerak *zig-zag* kapal sangat dipengaruhi oleh kondisi trim kapal (sarat air pada stern dan pada bow tidak sama besar). Nilai *max. rate of turning, overshoot angle, overshoot time, periode* and *2nd execute time* berubah secara signifikan dengan perbedaan kondisi trim kapal sebagai-mana yang dipresentasikan pada tabel 9 dan 10.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *overshoot angle* pada kondisi kapal *trim by stern* lebih kecil 12% dibandingkan dengan kondisi *even keel*. Sedangkan sebaliknya pada kondisi kapal *trim by bow*, nilai *overshoot angle* lebih besar dibandingkan pada kondisi *even keel*.

Hal tersebut diatas mengindikasikan bahwa performa olah gerak *zig-zag* kapal sangat optimal dalam kondisi kapal *trim by stern*. Fenomena ini terjadi karena volume air yang tercelup di daerah belakang (*stern*) kapal lebih besar dari pada bagian depan (*bow*) kapal sehingga pada bagian belakang kapal lebih banyak mendapat tekanan air dari bawah, yang mana efek tersebut memberikan kemampuan (*force*) pada kemudi lebih besar untuk menggerakkan kapal secara *zig-zag*.

KESIMPULAN

Karakteristik olah gerak (manuver) kapal dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kecepatan kapal, arah putaran baling-baling, kondisi sarat air (*loading condition*). Berdasarkan hasil pengujian model kapal yang dilakukan di kolam uji hidrodinamika, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Pengaruh kondisi trim kapal pada karakteristik olah gerak (manuver) kapal cukup signifikan. Kemudian efek tersebut kontradiksi antara kemampuan gerak lintasan putar (*turning ability*) dan *zig-zag ability*. Performa gerak lintasan putar (*turning ability*) kapal sangat optimal pada kondisi kapal *trim by bow*. Sedangkan performa gerak lintasan *zig-zag* kapal sangat baik bila kondisi kapal *trim by stern*.
- Arah putaran baling-baling dan kecepatan kapal memberi pengaruh terhadap kinerja olah gerak kapal.
- Performa *reversed spirral* untuk tipe kapal yang diuji memperlihatkan kestabilan arah lintasan yang agak kurang stabil (*slightly dynamical course unstable*).

DAFTAR PUSTAKA

IMO 1993, Interim Standard for Ship Maneuvrability-Resolution A 751.
IMO 2002, Standards for Ship Manoeuvrability, Resolution SMC 137,
Inoue, S., et al 1981, A Practical Calculation Method of Ship Maneuvering Motion, Int. Shipbuilding Progress, pp.207
Jonk, A. and Rem, A 1989, Hydrodynamics Optimization in Ship Design with Regard to Manoeuvrability, MARIN, Wageningen, Netherlands.

Journee, JMJ. and Pinkster, J 2002, Introduction in Ship Hydromechanics, Lecture Notes, Delf University of Technology, Netherlands.

Proceedings 19th 1990 International Towing Tank Conference, Report of Manoeuvrability Committee, Madrid.

*) Peneliti, UPT. Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika, BPPT, Surabaya.

**) Peneliti Pusat Teknologi Industri dan Sistem Transportasi- BPPT, Jakarta.

Table 5. Turning circle/ pull-out tests
kecepatan: 15.40 knots, Draft (Ta/Tf):10.3/10.3meter

No	Designation	Unit	Magnitude					
			Port side			Starboard		
1	Rudder angle	deg	15	25	35	35	25	15
2	Advance	m	320	266	226	213	239	295
3	Transfer	m	200	178	100	87	142	155
4	Tactical diameter	m	404	308	239	226	297	397
5	Turning circle diameter	m	595	392	291	373	370	549
6	T 90	s	141	123	85	75	93	105
7	T 180	s	242	199	164	161	177	220
8	T 360	s	495	398	342	351	368	453
9	Turning circle time	s	498	411	372	381	405	426
10	Rate of turn	deg/s	0.73	0.89	1.0	0.97	0.92	.83
11	Residual rate of turn	deg/s	0.02	0.15	0.06	0.34	0.37	.34
12	Turning circle speed	kn	7.3	5.8	4.8	4.4	5.6	7.9
13	Speed loss ratio	---	0.47	0.38	0.31	0.28	0.36	.51

Table 6. Turning circle/ pull-out tests
kecepatan: 15.40 knots, Draft (Ta/Tf):11.2/9.4meter

No	Designation	Unit	Magnitude					
			Port side			Starboard		
1	Rudder angle	deg	15	25	35	35	25	15
2	Advance	m	791	--	439	422	--	647
3	Transfer	m	402	--	176	194	--	444
4	Tactical diameter	m	894	--	480	490	--	824
5	Turning circle diameter	m	665	--	305	291	--	600
6	T 90	s	140	--	93	75	--	131
7	T 180	s	499	--	376	356	--	476
8	T 360	s	499	--	376	356	--	476
9	Turning circle time	s	504	--	398	381	--	503
10	Rate of turn	deg/s	0.71	--	0.90	0.96	--	0.69
11	Residual rate of turn	deg/s	0.07	--	0.08	0.25	--	0.26
12	Turning circle speed	kn	8.1	--	4.7	4.7	--	7.3
13	Speed loss ratio	---	0.52	--	0.30	0.30	--	0.47

Table 7. Turning circle/ pull-out tests
kecepatan: 7.00 knots, Draft (Ta/Tf): 10.3/10.3meter

No	Designation	Unit	Magnitude					
			Port side			Starboard		
1	Rudder angle	deg	15	25	35	35	25	15
2	Advance	m	--	--	523	476	--	661
3	Transfer	m	--	--	228	233	--	360
4	Tactical diameter	m	--	--	474	490	--	801
5	Turning circle diameter	m	--	--	316	281	--	552
6	T 90	s	--	--	182	186	--	248
7	T 180	s	--	--	327	373	--	473
8	T 360	s	--	--	718	822	--	974
9	Turning circle time	s	--	--	783	878	--	1022
10	Rate of turn	deg/s	--	--	0.46	0.42	--	0.36
11	Residual rate of turn	deg/s	--	--	0.06	0.18	--	0.18
12	Turning circle speed	kn	--	--	2.5	2.0	--	3.3
13	Speed loss ratio	---	--	--	0.35	0.28	--	0.47

Table 8. Turning circle/ pull-out tests
kecepatan: 7.00 knots, Draft (Ta/Tf): 9.85/10.75meter

No	Designation	Unit	Magnitude					
			Port side			Starboard		
1	Rudder angle	deg	15	25	35	35	25	15
2	Advance	m	--	--	213	188	--	270
3	Transfer	m	--	--	71	94	--	187
4	Tactical diameter	m	--	--	213	229	--	378
5	Turning circle diameter	m	--	--	295	247	--	508
6	T 90	s	--	--	192	164	--	252
7	T 180	s	--	--	351	346	--	458
8	T 360	s	--	--	755	736	--	934
9	Turning circle time	s	--	--	840	776	--	978
10	Rate of turn	deg/s	--	--	0.44	0.47	--	0.37
11	Residual rate of turn	deg/s	--	--	0.19	0.21	--	0.23
12	Turning circle speed	kn	--	--	2.1	1.9	--	3.2
13	Speed loss ratio	---	--	--	0.31	0.28	--	0.45