

# UJI TARIK HIDRODINAMIK MODEL KAPAL BERSAYAP *WiSE* DENGAN LAMBUNG DASAR BERSTEP

Iskendar \*, Andi Jamaluddin \*\*, Paulus Indiyono \*\*\*

\*) Pusat Teknologi Industri dan Sistem Transportasi,  
Kedeputan Teknologi Industri Rancang Bangun dan Rekayasa,  
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi,  
e-address : [ken@ceo.bppt.go.id](mailto:ken@ceo.bppt.go.id) – Tlp. +62 21 3169398,  
Mahasiswa S3 Studi Teknologi Kelautan, Program Pascasarjana - ITS, Surabaya.

\*\*\*) UPT Balai Pengkajian dan Pengembangan Hidrodinamika,  
Kedeputan Teknologi Industri Rancang Bangun dan Rekayasa,  
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi,  
e-address : [andi99@engineer.com](mailto:andi99@engineer.com)- Tlp. +62 31 5948060.

\*\*\*) Fakultas Teknologi Kelautan, Program Pascasarjana - ITS, e-address : [paul@oe.its.ac.id](mailto:paul@oe.its.ac.id)  
- Tlp. +62 31 5947254.

## Abstract

*This paper describes hydrodynamic model tests of Wing in Surface Effect (WiSE) Craft. These craft was fitted with step hull form in different location on longitudinal flat bottom (stepped hull planning craft) to determine the influences of sticking and porpoising motion performances. These motions are usually occurred when the craft start to take-off from water surfaces. The test models with scale of 1 : 7 were comprised of 4 (four) stepped hull models and 1 (one) non-stepped hull model as a comparative study. The hydrodynamic tests were performed with craft speed of 16 – 32 knots (prototype values) in Towing Tank at UPT. Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika (BPPH), BPPT, Surabaya. The resistance (drag) was measured by dynamometer and the trim of model (draft changing at fore and aft of model due to model speed) was measured by trim meter. By knowing the value of model trim, the wetted surface area can be determined. Then, the lift forces were calculated based on these measured values. The model test results were presented on tables and curves. Test results show that models with step located far away from center of gravity of the WiSE craft tend to porpoising and sticking condition, except if the step location on the below of these center of gravity. While model without step tends to sticking conditions.*

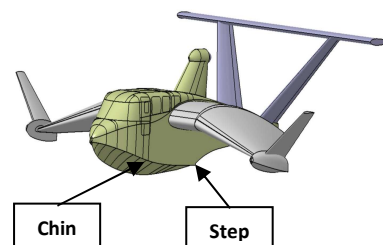
**Kata kunci :** *WiSE craft, stepped hull, hydrodynamic, sticking, porpoising .*

## 1. PENDAHULUAN

Uji tarik hidrodinamik kapal bersayap berteknologi *Wing in Surface Effect (WiSE)* dilakukan dalam rangka penelitian konfigurasi komponen body (*fuselage*), sayap dan ekor (*vertical tail plane - VTP* dan *horizontal tail plane - HTP*) yang diperlukan bagi pemenuhan *lift* gerak kapal bersayap, terutama di saat gerak *planning* menjelang *take off*.

Teknologi *WiSE* merupakan teknik pemanfaatan efek pemampatan udara permukaan yang terjadi pada obyek benda terbang rendah. Fenomena efek permukaan dipertahankan dengan menjaga ketinggian terbang tetap rendah. Konfigurasi wahana berupa kombinasi bentuk geometri aerodinamik komponen badan, sayap, dan ekor berperan menjadikan wahana stabil dan cenderung mempertahankan ketinggian

terbangnya (Delhaye, 1997; Husa, 2000; Wolf, 2002; ITB, 2005). Untuk itu perlu rekayasa bentuk geometrik wahana, baik bentuk lambung (*fuselage*), profil sayap maupun ekor yang tepat. Teknologi ini salah satunya diterapkan pada kapal yang dilengkapi dengan sayap dan ekor sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kapal bersayap dengan step.

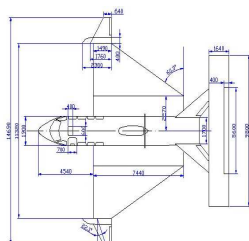
Sebagai bahan penelitian dalam makalah ini adalah kapal bersayap berteknologi *WiSE kapasitas 8 seaters (WiSE-8)* yang saat ini sedang dikaji pembangunannya oleh BPPT bekerjasama dengan ITB, ITS, PT. CBI, Djubair OD, BKL, dan Direktorat Jenderal Perhubungan Laut.

Kapal bersayap *WiSE-8* dirancang untuk dapat terbang layar dengan baik dan *lift off* pada kecepatan 55 knot, berat maksimum awal terbang (*MTOW - Maximum Take Off Weight*) atau berdisplasemen sebesar 3200 kg serta terbang layar dengan *surface effect* pada kecepatan 80 knot (ITB (a), 2005).

Untuk memenuhi *design requirements and objective* sebagaimana tersebut di atas, sayap *WiSE-8* dipilih *fixed wing, shouldered reverse delta* dengan luas sayap 64 m<sup>2</sup>, *wingtip* 2 X 5,72 m<sup>2</sup> dan bentuk aerofoil Clark Y. Ekor vertikal dengan sudut pasang 46° (*back-sweep*) dan 56° (*dehidral*) mempunyai luas 2 X 9,9 m<sup>2</sup>, sedangkan ekor horisontal mempunyai luas 16,07 m<sup>2</sup> (lihat Gambar 2). Bentuk aerofoil baik ekor vertikal maupun horisontal digunakan NACA 0012 (Abbot dan Doenhoff, 1959; ITB, 2005).

Untuk dapat memberikan data kinerja bentuk kapal bersayap sebagaimana ukuran di atas dilakukan uji model, baik dari aspek hidrodinamik maupun aerodinamik. Uji aerodinamik dilakukan di terowongan angin UPT-LAGG (Laboratorium Aerodinamika Gas dan Getaran) - BPPT, di Serpong, Jakarta. Sedangkan uji tarik hidrodinamik dilakukan di *towing tank* UPT-BPPH (Balai Penelitian dan Pengkajian Hidrodinamika) - BPPT di Surabaya.

Berkaitan dengan uji tarik di *towing tank*, makalah ini dimaksudkan menulis hasil uji model kapal bersayap dengan lambung dasar rata berstep yang dibutuhkan bagi perancangan kapal bersayap *WiSE-8*, di antaranya untuk kajian hidrodinamik gerak *planning* arah longitudinal menjelang kapal bersayap *take off*. Dengan sasaran bahwa dalam proses *take-off* kapal bersayap stabil terhindar dari peristiwa gerak *sticking* maupun *porpoising*.



Gambar 2. Rencana umum dimensi pandangan atas bentuk sayap dan ekor.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1 Uji Tarik (towing test)

Metodologi uji tarik model lambung dasar rata berstep (*stepped hull planning craft*) kapal bersayap *WiSE-8* mengikuti prosedur sesuai rekomendasi ITTC 7.5-02-05-01, 2002. tentang metodologi uji dan ekstrapolasi pengujian resistan *High Speed Marine Vehicles (HSMV)*.

Parameter uji mencakup data hal-hal sebagai berikut:

Koefisien tahanan total :

$$C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2} \rho S V^2}$$

Koefisien tahanan gesek berdasarkan korelasi model dan kapal menurut ITTC, 2002 :

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} R_e - 2)}$$

Koefisien *lift* :

$$C_{L_F} = \frac{L_F}{\frac{1}{2} \rho V^2 S}$$

Koefisien momen trim :

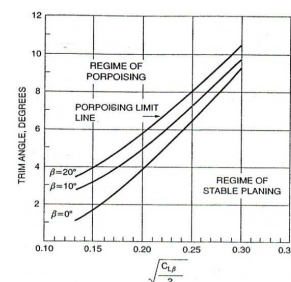
$$C_M = \frac{M_T}{(\rho B^3)}$$

Angka Froude :

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

**Porpoising :**

Untuk memprediksi timbulnya gerak *porpoising* digunakan kurva hasil penelitian eksperimental Day and Haag (1952) yang dikembangkan oleh Savitsky (1964) dan dalam tulisan Martin (1978) serta Faltinsen (2005). Adapun kurva tersebut ditunjukkan sebagaimana Gambar no 3 berikut ini.



$$C_{L_F} = \frac{Mg}{(0,5 \rho V^2 B^2)}$$

Gambar 3. Kurva batasan porpoising kapal dasar rata – *planning hull* Savitsky (1964).

**Notasi :**

$R_T$  = Tahanan total (N).

$L_F$  = Gaya angkat (*lift forces*) dalam N.

$V_p$  = Kecepatan uji (m/det).

$V$  = Kecepatan terbang layar (knot).

$z_v$  = *Sinkage* saat gerak (m).

$T_a$  = Sarat belakang kondisi trim (m).  
 $T_f$  = Sarat depan kondisi trim (m).  
 $\vartheta_v$  = Sudut trim kondisi gerak ( $^\circ$ ).  
 $Lwl$  = Panjang garis air (m).  
 $B$  = lebar kapal (ft).  
 $M$  = massa kapal (kg).  
 $M_T$  = momen trim (t.m).  
 $S$  = Luas permukaan basah ( $m^2$ ).  
 $C_{L\beta}$  = Koefisien daya angkat (*lift*) berdasarkan berat kapal.  
 $C_{L_F}$  = Koefisien daya angkat (*lift*) berdasarkan gaya hidrodinamik.  
 $\lambda$  = Skala rasio panjang antara model dan kapal.  
 $g$  = Konstante Gravitasi ( $m/det^2$ ).  
 $\rho$  = Kerapatan masa air ( $kg/m^3$ ).  
 $\beta$  = Sudut dead rise ( $^\circ$ ).

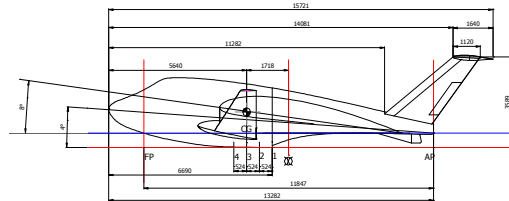
## 2.2 Model uji

Prosedur pembuatan model uji mengikuti rekomendasi ITTC 7.5-02-05-01. Ukuran model 1 : 7 dari ukuran kapal sebenarnya,  $\lambda = 1/7$  (V. Bertram, 2002). Ukuran model uji kapal bersayap ini menyesuaikan ukuran fasilitas uji *towing tank* di UPT BPPH – BPPT yang berukuran panjang kolam tarik 235,4 m; lebar 11 m; dan kedalaman 5,5 m. Kecepatan *towing carriage* maksimal 9,00 m/det. Kerapatan masa air *towing tank* 999,1  $kg/m^3$ , dan kerapatan masa udara  $\pm 1.164 kg/m^3$ , (untuk temperature  $30^\circ C$ ), sedangkan temperatur air berkisar antara  $16 - 18^\circ C$ .

Pembuatan model dilakukan dengan teknik aeromodeling. Material dari kayu balsa dan dilapis dengan serat gelas, sehingga dapat memenuhi kebutuhan berat yang sangat ringan. Model uji dibuat lengkap dengan sayap dan ekor. Model uji berjumlah 5 buah, yang terdiri dari 4 buah yang masing-masing mempunyai step, dengan posisi letak yang berbeda-beda, dan 1 buah model uji tanpa step sebagai bahan pembandingan. Untuk efisiensi material, model uji dibuat dengan sistem modul yang terdiri dari satu modul utama berupa badan kapal bagian atas lengkap dengan komponen sayap beserta ekor dan 5 (lima) modul bagian dasar kapal yang masing-masing mempunyai letak step bervariasi, satu di antaranya tanpa step, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar photo no 4A, 4B, 4C, dan 4D serta Gambar 5 berikut ini. Selanjutnya model dirakit sesuai kebutuhan variasi uji.



Gambar 4. Pembuatan model uji dengan variasi letak step, dengan sistem modul. Modul step (A), Modul step dan badan dirangkai (B dan C), Model uji lengkap (D).



Gambar 5. Variasi letak step pada posisi nomor 1, 2, 3, dan 4.

Displasemen model uji = 9.1 kg (di air tawar), sedangkan ukuran lambung, sayap, dan ekor model uji secara rinci disampaikan pada Tabel 1 sampai dengan 4 berikut ini.

Tabel 1. Data ukuran lambung dan ponton model uji.

Ukuran	Lambung Model	Ponton pada sayap
Loa (Panj seluruh)	2,25 m	0,34 m
Lpp (Panj antara grs tegak)	1,69 m	0,34 m
B (Lebar)	0,27 m	0,11 m
H (Tinggi)	0,39 m	0,11 m
T (Sarat)	0,08 m	0,04 m
$\beta$ (sudut deadrise)	$15^\circ$	$15^\circ$

Tabel 2. Data ukuran sayap model uji

Lebar	2,10 m
Luas	$1,31 m^2$
Aspek rasio	2
Type aerofoil	Clark Y
Letak sayap dari nose	0,65 m

Tabel 3. Data ukuran sayap ujung (*winglet*)

Luas (kanan dan kiri)	$0,12 m^2 \times 2$
Sudut pasang <i>winglet</i>	$45^\circ$
Profil	Clark Y

Tabel 4. Data ukuran ekor tegak dan horisontal.

Ekor tegak ( <i>Vertical Tail Plane</i> )	
Luas (kanan dan kiri)	$0,11 m^2 \times 2$
Profil	NACA 0012
Sudut <i>back sweep</i>	$45^\circ$
Sudut V ekor	$53^\circ$
Ekor horisontal ( <i>Horizontal Tail Plane</i> )	

Luas	0,33 m <sup>2</sup>
Profil	NACA 0012

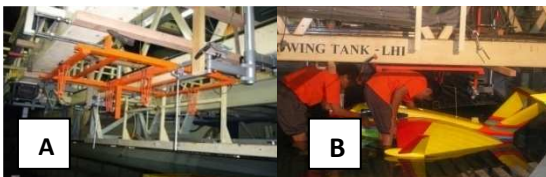
Letak step nomor 1 : 0,94 m di depan transom.  
 Letak step nomor 2 : 1,02 m di depan transom.  
 Letak step nomor 3 : 1,09 m di depan transom.  
 Letak step nomor 4 : 1,17 m di depan transom.

Sedangkan letak titik berat model uji berada di 1,09 m di depan transom.

### 2.3 Set-up model uji

Model uji dipasang pada *towing carriage* melalui *towing guide* (lihat Gambar 6) dengan *set-up* bahwa model uji hanya dapat bebas bergerak *heave* dan *pitch*, tidak dapat bergerak *yawing* ataupun *swaying* sehingga tidak timbul momen *rolling* ataupun *heeling*. Trim meter dipasang pada posisi tegak di bagian depan dan di bagian belakang model uji pada posisi yang tidak mengganggu *towing guide*.

Model uji dipasang dengan garis tengah model tepat di garis tengah kolam tarik dan sejajar dengan dinding samping kolam tarik. Kabel instrumentasi diletakkan sedemikian rupa sehingga di saat pengukuran tidak mengganggu gerak model uji.



Gambar 6. Photo *towing guide frame* (A) untuk pemegang model uji kapal *WiSE-8* (B), di *Towing Tank* UPT-BPPH-BPPT, di Surabaya.

### 2.3 Program uji

Model kapal diuji tarik dengan pendekatan *bare-appended resistance test*, sehingga model kapal diuji lengkap dengan sayap berpontoon serta ekor tegak (*VTP*) dan horisontal (*HTP*) sesuai rancangan geometrik kapal bersayap.

Uji tarik atau *resistan-towing test* dilakukan dengan *fully captured force measurements*, model kapal ditarik dengan *towing carriage*, total gaya longitudinal (horisontal) yang bekerja pada model diukur dengan *towing dynamometer* berdasarkan variasi kecepatan.

Keterangkatan model uji baik di bagian depan maupun belakang kapal diukur dengan trim meter sehingga dapat dilihat kondisi trim kapal di saat diam maupun bergerak. Model kapal diuji dengan variasi kecepatan dari 16 s/d. 32 knot atau dengan kecepatan *towing carriage* 3,11 m/det s/d. 6,22 m/det untuk  $\lambda = 1/7$ . Secara lebih rinci

variasi kecepatan pada program uji ini mencakup kecepatan kapal 16; 20; 24; 26; 28; 30; dan 32 masing-masing dalam satuan knot.

Parameter yang diukur pada setiap variasi pengujian mencakup kecepatan ( $V$ ); total resistansi ( $R_T$ ), dan perubahan sarat air depan dan belakang ( $T_a$  dan  $T_f$ ). Sudut trim dan momen trim (*pitching moment*), kestabilan gerak *heave*, serta estimasi besaran luasan permukaan basah dilakukan melalui perhitungan konvensional dibantu dengan perangkat lunak berdasarkan kondisi trim setiap variasi hasil pengujian. Dengan data luasan permukaan basah, gaya *lift* hidrodinamik dihitung.

Untuk mengetahui efek *appendage* (sayap, *winglet*, dan ekor) secara terpisah dilakukan uji aerodinamik di terowongan angin UPT-LAGG-BPPT melalui *wind tunnel test* (LAGG, 2006). Uji aerodinamik tersebut tidak diutarakan dalam penulisan ini.

Uji tarik terhadap model uji *stepped hull planning craft* kapal bersayap *WiSE-8* dengan 4 variasi lokasi step dilanjutkan dengan model uji tanpa step untuk pembandingan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan program pengujian tarik model kapal bersayap dengan step dan ditambah dengan uji model tanpa step sebagai pembandingan pada variasi kecepatan kapal antara 16 s/d. 32 knot diperoleh hasil dan bahasan sebagai berikut :

### 1) Angka Froude

Angka Froude ( $Fr$ ) dihitung berdasarkan panjang garis air setiap kondisi variasi kecepatan uji, sehingga panjang yang diambil untuk perhitungan  $Fr$  adalah  $Lwl$ .

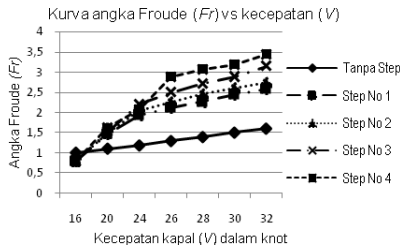
Dengan variasi kecepatan uji 16 s/d 32 knot dan berdasarkan pengamatan serta perhitungan panjang garis air ( $Lwl$ ) setiap kondisi pengujian, maka angka Froude  $Fr$  berkisar antara 0,79 dan 3,5 (lihat kurva pada Gambar 7).  $Fr$  untuk kapal bersayap tanpa step pada kecepatan di atas 17 knot cenderung lebih rendah dari kapal lainnya yang menggunakan step. Hal ini dimungkinkan untuk kapal tanpa step hisapan air di bagian belakang dasar kapal cukup besar membuat kapal tetap bertahan tidak terangkat sehingga  $Lwl$  tetap besar. Dengan kecepatan bertambah, kapal bersayap tanpa step juga masih tidak mengangkat buritan secara signifikan, sehingga pertambahan  $Lwl$  juga rendah.  $Fr$  kapal bersayap tanpa step mempunyai nilai rata-rata 38% lebih rendah dari kapal bersayap lainnya yang menggunakan step.

### 2). Karakteristik Trim

Kurva pada Gambar 8 dan 9 menunjukkan bahwa pada kenaikan kecepatan yang sama,

kondisi  $T_a$  dan  $T_f$  kapal bersayap dengan step, mempunyai pola kecenderungan perubahan yang sama.

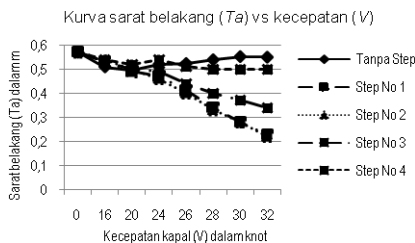
Pada kecepatan sampai dengan 24 knot untuk kapal bersayap dengan lokasi step nomor 1, nilai  $T_f$  cenderung turun secara tajam sebesar 96,5% (terjadi pada lokasi step nomor 4) dan 77,2 % (terjadi pada lokasi step nomor 1).



Gambar 7. Kurva angka Froude ( $Fr$ ) berdasarkan besaran kecepatan ( $V$ ).

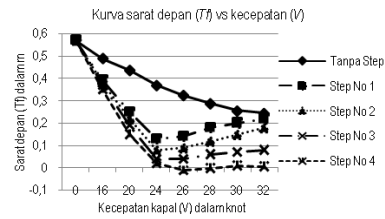
Pada kecepatan berikut sampai dengan kecepatan 32 knot  $T_f$  secara perlahan naik, dengan kenaikan yang cenderung mendarat sampai dengan kenaikan maksimal  $\pm 38,6$  % dari sarat awal. Dan jika diamati lebih cermat, maka untuk lokasi step nomor 4 terdapat kecenderungan sedikit naik dan turun.

Kondisi  $T_a$  seluruh kapal bersayap dengan step, sampai di kecepatan 24 knot sedikit turun sekitar 12,5% dari sarat awal, selebihnya cenderung menurun sampai  $\pm 50$ % nya.



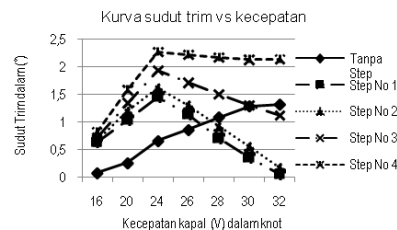
Gambar 8. Kurva perubahan sarat belakang ( $T_a$ ) berdasarkan variasi kecepatan uji ( $V$ ).

Pada kapal bersayap dengan step nomor 3 dan 4, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9, sarat belakang setelah 24 knot cenderung turun landai, kecuali untuk step nomor 4 terdapat kecenderungan tetap datar, mendekati kapal bersayap tanpa step. Jika dibandingkan antara kapal bersayap dengan step dan tanpa step, maka pada kapal bersayap tanpa step perubahan sarat depan dan belakang mempunyai karakteristik tersendiri. Pada kenaikan kecepatan secara bertahap sampai dengan 32 knot  $T_f$  turun melandai secara bertahap dari 0,57 m ke 0,24 m atau turun maksimum sebesar 57,9 %. Sedangkan  $T_a$  cenderung pada posisi tetap.



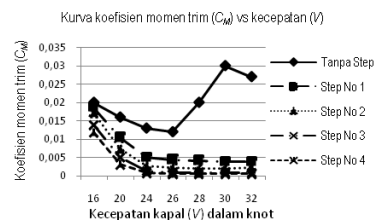
Gambar 9. Kurva perubahan sarat depan ( $T_f$ ) berdasarkan variasi kecepatan uji ( $V$ ).

Kondisi sarat sebagaimana diutarakan di atas menunjukkan bahwa kondisi trim kapal bersayap dengan maupun tanpa step, untuk kecepatan sampai dengan 24 knot atau  $Fr$  yang berkisar antara 1,19 s/d. 2,07 terjadi *trim by stern* (lihat Gambar 10 dan 11). Pada kecepatan berikutnya sampai dengan 32 knot atau dengan  $Fr$  berkisar antara 1,61 s/d. 3,44 terjadi penurunan  $\vartheta_v$ , untuk step nomor 1 dan 2 mendekati *evenkeel*, sedangkan step nomor 3 dan 4 masih sedikit *trim by stern* dengan  $\vartheta_v$  sebesar 1,93 s/d 2,14°. Untuk kapal bersayap tanpa step setelah kecepatan 24 knot sampai dengan 32 knot atau dengan  $Fr = 1,19$  s/d. 1,61, masih terus *trim by stern*, di mana peningkatan  $\vartheta_v$  relatif kecil sampai dengan 1,32° dari  $\vartheta_v = 0,08^\circ$  yang terjadi pada kecepatan 16 knot.



Gambar 10. Kurva perubahan sudut trim ( $\vartheta_v$ ) berdasarkan variasi kecepatan uji ( $V$ ).

Kondisi tersebut di atas menunjukkan gerak kapal bersayap, baik dengan step maupun tanpa step, pada kecepatan sampai dengan 24 knot atau dengan  $Fr$  berkisar antara 1,19 s/d 2,07 haluan terangkat secara tajam (*trim by stern*), kecuali untuk kapal tanpa step, bagian haluannya hanya terangkat landai.



Gambar 11. Kurva Koef momen pitch atau trim ( $C_M$ ) berdasarkan variasi kecepatan uji ( $V$ ).

Setelah itu, pada kecepatan lebih dari 24 knot, kapal bergerak datar, kecuali kapal bersayap

tanpa step, lambung bagian depan masih tetap terangkat landai. Bagian buritan untuk kapal dengan step pada kecepatan sampai kecepatan 32 knot terus terangkat. Sedangkan bagian buritan kapal tanpa step sampai dengan kecepatan 32 knot cenderung turun. Hal ini terjadi karena adanya hisapan air pada buritan kapal yang menahan badan kapal sehingga buritan kapal tanpa step tidak terangkat.

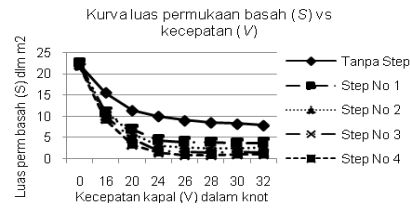
### 3). Karakteristik hidrodinamik

Luas permukaan basah baik untuk kapal bersayap dengan maupun tanpa step, mempunyai trend menurun. Lihat Gambar 12, pada kecepatan sampai 24 knot, luas permukaan basah cenderung turun tajam, sedang pada kecepatan sampai 32 knot cenderung datar. Perbedaan luas permukaan basah terjadi secara signifikan pada tingkat penurunannya saja. Untuk kapal dengan step penurunan luas  $\pm 88,6\%$ , sedangkan untuk kapal tanpa step penurunan luas hanya  $\pm 54,5\%$ . Koefisien tahanan kapal bersayap total ( $C_T$ ) untuk disain dengan dan tanpa step memiliki trend yang sama (lihat Gambar 13 s/d.15). Pada kecepatan sampai dengan 24 knot, trend kenaikan  $C_T$  untuk kapal tanpa step lebih besar  $\pm 300\%$  dari kapal dengan step nomor 1 s/d. 4, di mana semakin besar kecepatan maka semakin besar pula perbedaan harga  $C_T$  -nya. Lebih rinci, pada kecepatan 24 knots,  $C_T$  untuk step nomor 1- 3 hampir sama antara 0,015 s/d. 0,036. Sedangkan untuk step nomor 4 lebih kecil hingga 60% atau maksimum 0,067 dari  $C_T$  step nomor 1 - 3. Fenomena perubahan  $C_T$  ini sangat dipengaruhi oleh perubahan luas permukaan basah ( $S$ ) dan perubahan sarat air depan ( $T_f$ ) dan belakang ( $T_a$ ). Luas permukaan basah dari kapal akan semakin berkurang dengan semakin cepat kapal melaju dengan gerak *planning*, sehingga kenaikan tahanan hidrodinamik yang terjadi tidak terlalu besar, bahkan turun, demikian pula gaya angkat hidrodinamik juga semakin rendah. Kondisi ini dimungkinkan terjadi karena gaya angkat aerodinamik semakin besar dan menyebabkan gaya hidrodinamik semakin kecil.

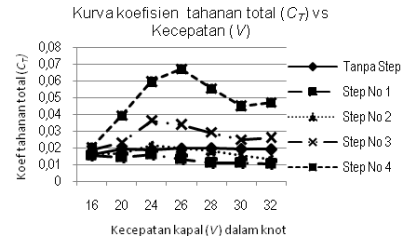
### 4). Karakteristik gerak *planning*

Berdasarkan pendekatan Savitsky 1964, diperoleh koefisien untuk penilaian ketidakstabilan gerak *porpoising* pada tahapan *planning* sebagai ditunjukkan dalam Tabel 5 dan 6.

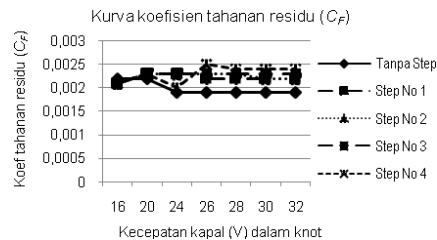
Gerakan keterangkatan kapal *heave* yang dipelajari terhadap gerak titik berat CoG (*center of gravity*) diperoleh bahwa nilai  $Z_V$  semakin besar dari kecepatan 16 s/d 24 knots dan kemudian menurun hingga pada kecepatan 32 knots (lihat Gambar 16).



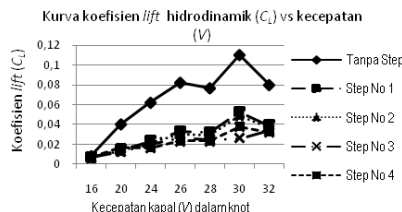
Gambar 12. Kurva luas permukaan basah (S) berdasarkan variasi kecepatan uji (V).



Gambar 13. Kurva koefisien tahanan total ( $C_T$ ) berdasarkan variasi kecepatan uji (V).



Gambar 14. Kurva koefisien tahanan residu ( $C_R$ ) berdasarkan variasi kecepatan uji (V).



Gambar 15. Kurva koef lift hidrodinamik ( $C_L$ ) berdasarkan variasi kecepatan uji (V).

Kenaikan maksimum titik CoG terjadi pada kecepatan 24 knots untuk semua disain step. Namun jika kita perhatikan gerak pitch yang ditandai oleh besaran  $T_a$  dan  $T_f$ , maka pada kapal bersayap tanpa step dan step nomor 1 terjadi *sticking*.

Tabel 5. Besaran koefisien  $(C_{L\beta}/2)^{0.5}$ , untuk analisis kestabilan gerak, pada  $\beta = 15^\circ$ .

Knot	Tanpa Step	Step No 1	Step No 2	Step No 3	Step No 4
16	0.77	0.55	0.46	0.38	0.30
20	0.58	0.32	0.23	0.16	0.13
24	0.49	0.28	0.19	0.13	0.09
26	0.43	0.25	0.17	0.12	0.09
28	0.38	0.22	0.16	0.12	0.09
30	0.35	0.21	0.16	0.10	0.08

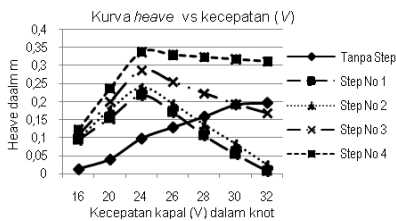
32	1.05	0.92	0.89	0.80	0.73
----	------	------	------	------	------

Tabel 6. Kondisi kestabilan gerak terhadap *porpoising* berdasarkan kurva dalam Gambar 4.

Knot	Tanpa Step *)	Step No 1*)	Step No 2	Step No 3	Step No 4
16	Stabil	Stabil	Stabil	Stabil	Stabil
20	Stabil	Stabil	Stabil	Stabil	Porpoising**)
24	Stabil	Stabil	Stabil	Stabil	Porpoising**)
26	Stabil	Stabil	Stabil	Stabil	Porpoising**)
28	Stabil	Stabil	Stabil	Stabil	Stabil
30	Stabil	Stabil	Stabil	Stabil	Stabil
32	Stabil	Stabil	Stabil	Stabil	Stabil

\*) Terjadi *sticking*;

\*\*\*) Terjadi di garis batas awal *porpoising*.



Gambar 16. Kurva heave berdasarkan variasi kecepatan uji (V).

Harga  $T_a$  selalu sama atau lebih besar dari 0,5 m. Sedangkan pada step nomor 4 pada kecepatan mulai 20 knot cenderung menunjukkan gejala gerak *porpoising* berupa gerak anggukan (*heave* dan *pitch*). Hal ini ditunjukkan oleh besaran  $T_a$  mendekati 0,  $T_f$  dinamis naik dan turun.

Di antara 5 (lima) variasi uji tarik hidrodinamik, maka kapal bersayap dengan lokasi step nomor 3 merupakan desain yang paling baik. Di samping tidak mengalami *sticking*, juga tidak timbul gerak *porpoising*. Sedangkan kapal bersayap tanpa step secara signifikan mengalami *sticking*.

#### 4. KESIMPULAN

Dari pembahasan hasil uji tarik model kapal bersayap dengan step dapat disimpulkan bahwa dari aspek hidrodinamik kapal bersayap dengan step mempunyai kecenderungan menghadapi gerak *sticking* maupun *porpoising*. Namun jika step ditempatkan pada lokasi di bawah letak titik berat menunjukkan bahwa gerakan *sticking* maupun *porpoising* dapat dihindari. Sedangkan kapal bersayap tanpa step cenderung *sticking*. Hal ini sangat baik jika gerak ini selanjutnya dapat ditunjang dengan analisis numerik yang lebih teliti untuk analisis perbandingan.

#### DAFTAR PUSTAKA

Abbot I.H., & Doenhoff A.E.Von, (1959), "Theory of Wing Sections", Dover Publications Inc., New York, USA.

Bertram V., (2002), "Practical Ship Hydrodynamics", Butterworth Heinemann, Tokyo.

BPPH, Indonesian Hydrodynamic Laboratory - IHL (2008), "Pengujian Hydrodynamic Drag WiSE-8", Laporan Uji WiSE-8, UPT-BPPH, BPPT, Surabaya.

Delhaye H., (1997), "An Investigation into the Longitudinal stability of Wing in Ground Effect Vehicles", MSc Thesis, Cranfield University.

Faltinsen O.M., (2005), "Hydrodynamic of High-Speed Marine Vehicles", Cambridge University Press, New York, USA.

Husa B., (2000), "Stepped Hull Development for Amphibious Aircraft", Report for Orion Technologies, Aerospace Design and Engineering.

ITTC (2002), "Recommended procedure testing and extrapolation methods High Speed Marine Vehicles Resistance test", ITTC 7.5-02-05-01.

LAGG, (2006), "Pengujian Model WiSE - 8 di ILST", Laporan Eksperimen 123, UPT.LAGG-BPPT, Serpong, Jakarta.

LPPM-ITB (a), Tim WiSE, (2005), "Design Requirements and Objective", Laporan akhir Desain konfigurasi, preliminary design WiSE 8, LPPM ITB-BPPT.

LPPM-ITB (b), Tim WiSE (2005), "WiSE 8 Aerodynamic Prediction Based on Datcom", Laporan akhir Desain konfigurasi, preliminary design WiSE 8, LPPM ITB-BPPT.

Martin M., (1978), "Theoretical Determination of Porpoising Instability of High-Speed Planing Boat", Journal of Ship Research, Vol. 22, No. 1, halaman 32-53.

Savitsky D., (1964), "Hydrodynamic Design of Planing Hull", Journal of Marine Technology, Vol 1, No. 1, halaman 71-95.

Svahn D., (2009), "Performance Prediction of Hulls with Transverse Steps", A Report of Masters Thesis, The Royal Institute of Technology, KTH, Centre for Naval Architecture, May 2009.

Wolf W.B. de, (2002), "Aerodynamic investigations on a wing in ground effect", National Aerospace Laboratory NLR.