

## Pengaruh Bentuk Labung pada Model Kapal Selam terhadap Pola Gelombang dan Hambatan yang Terjadi

Gunawan dan Aji Sakaroni

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia,  
Kampus UI Depok, 16424, Indonesia  
Email : gunawan\_kapal@eng.ui.ac.id

### Abstrak

Kapal selam adalah kapal yang bergerak di bawah permukaan air, umumnya digunakan untuk tujuan dan kepentingan militer. Sebagian besar Angkatan Laut memiliki dan mengoperasikan kapal selam sekalipun jumlah dan populasinya masing-masing negara berbeda. Kapal selam saat berjalan akan menimbulkan bentuk pola gelombang yang terdiri dari gelombang melintang (transverse waves) dan system gelombang divergen. Sudut yang dihasilkan berhubungan dengan kecepatan dan hambatan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh bentuk-bentuk lambung kapal selam terhadap pola gelombang dan hambatan yang terjadi. Tiga buah bentuk lambung kapal selam digunakan dalam penelitian ini. Variasi draft dan kecepatan untuk masing-masing model kapal selam digunakan untuk mendapatkan data yang akurat. Pengujian dilakukan di towing tank mini dengan perangkat uji tarik yang memenuhi standar. Kecepatan kapal selam divariasikan hingga 8 kecepatan yang berbeda. Semakin besar kecepatan semakin besar pula sudut gelombang yang dihasilkan. Sudut gelombang yang kecil terjadi pada nilai Coefficient Block (Cb) yang kecil pula dan sebaliknya tergantung bentuk lambung kapal itu sendiri. Sudut gelombang tersebut erat kaitannya dengan hambatan kapal selam yang terjadi.

**Keywords:** Kapal selam, sudut gelombang, hambatan, koefisien blok, uji tarik.

### Pendahuluan

Kapal selam adalah kapal yang bergerak di bawah permukaan air, umumnya digunakan untuk tujuan dan kepentingan militer. Selain digunakan untuk kepentingan militer, kapal selam juga digunakan untuk ilmu pengetahuan laut dan air tawar dan untuk bertugas di kedalaman yang tidak sesuai untuk penyelam manusia. Di Indonesia pengadaan kapal selam sedang hangat-hangatnya dibahas dimedia massa. Tentu saja, karena untuk menjaga pertahanan laut Negara Indonesia harus menambah jumlah kapal selamnya setelah KRI Cakra dan KRI Nanggala.

Pada kapal selam tahanan yang paling besar adalah tahanan gelombang. Tahanan gelombang (Wavemaking resistance) merupakan komponen tahanan yang disimpulkan dari hasil pengukuran elevasi gelombang yang jauh dari kapal atau model. Ketika kapal berjalan di permukaan air seperti halnya sebuah titik tekanan tunggal yang bergerak sepanjang garis lurus permukaan air. Gerakan titik tersebut menimbulkan sejumlah gelombang yang bergabung membentuk pola yang khas.

Kajian mengenai pola gelombang (Wave Pattern) pada suatu benda diperairan, sangat diperlukan untuk membuat kendaraan di air dan design bangunan lepas pantai, misalnya kapal dan offshore. Kajian percobaan

ini untuk mengukur pola gelombang dengan menggunakan uji tarik pada suatu model. Dengan menggunakan uji tarik ini bias diketahui pola gelombang, hambatan model dan *wake factor*.

Pola ini terdiri dari system gelombang melintang (transverse waves) dan system gelombang divergen yang menyebar dari titik tersebut. Seluruh pola tersebut berada diantara garis lurus yang berasal dari titik tersebut dan masing-masing pada sisi yang berbeda akan membentuk sudut dengan garis gerakan. Jarak antara gelombang melintang satu dengan gelombang melintang lainnya tergantung pada kecepatan titik itu sendiri.

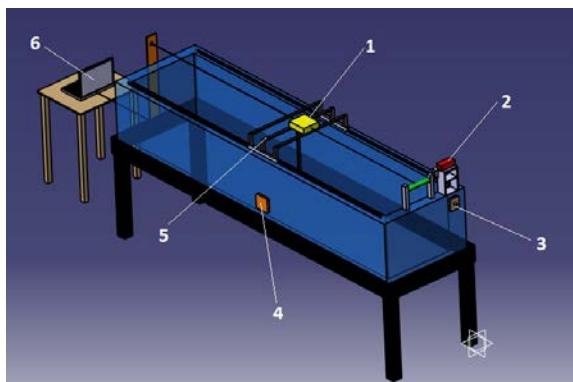
Hambatan akibat gelombang adalah komponen paling penting pada kapal. Pada umumnya rasio kerampingan yang besar dibutuhkan untuk mengurangi tahanan akibat gelombang. Lambung kapal harus seramping mungkin untuk mencapai kecepatan tinggi. Namun, kekurangan utama dari kerampingan ini adalah berkurangnya stabilitas transversal.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh bentuk-bentuk lambung kapal selam terhadap pola gelombang dan hambatan yang terjadi. Tiga buah bentuk lambung kapal selam digunakan dalam penelitian ini. Variasi draft dan kecepatan untuk masing-masing model kapal selam digunakan untuk mendapatkan data yang akurat.

Pengujian dilakukan di towing tank mini dengan perangkat uji tarik yang memenuhi standar. Kecepatan kapal selam divariasikan hingga 8 kecepatan yang berbeda. Semakin besar kecepatan semakin besar pula sudut gelombang yang dihasilkan. Sudut gelombang yang kecil terjadi pada nilai Coefficient Block (Cb) yang kecil pula dan selebihnya tergantung bentuk lambung kapal itu sendiri. Sudut gelombang tersebut erat kaitannya dengan hambatan kapal selam yang terjadi.

### Metode Eksperimen

Alat uji ini dirancang sebagai alat uji dengan skala laboratorium (kolam uji), yaitu penggunaan alat yang hanya ditunjukkan untuk penelitian dan pengambilan data dari model kapal selam yang akan dilakukan penelitian. Rancangan alat uji seperti terlihat pada gambar 1 dimana kapal model kapal selam akan ditarik sejauh 1,5 m. Model uji dilengkapi dengan alat ukur 'load cell transducer' untuk mengukur besar (gaya) hambatan. Posisi alat tersebut terletak ditengah kereta yang membawa kapal model dan model dapat bergerak bebas secara vertical. Pengujian dilakukan dengan merekam hasil tegangan tali pada load cell melalui data akusisi yang terbaca pada komputer.



**Gambar 1. Rancangan alat uji**

Keterangan:

1. Load Cell
2. Motor Listrik
3. Speed Control
4. Velocitymeter
5. Kereta Penarik
6. Laptop

Kapal selam model yang digunakan divariasikan sebanyak 3 bentuk yang berbeda.



**Gambar. 2 Model Le Plengour**



**Gambar 3 Model Wk 205**



**Gambar 4 Model Typhoon**

Beberapa variasi pengujian tarik dilakukan berdasarkan perubahan kecepatan dan sarat air disetiap pengujian dilakukan variasi putaran motor listrik untuk mendapatkan kecepatan yang diinginkan. Berikut merupakan variasi pengujian tarik :

1. Model Kapal La Plounger  
Kapal ditarik sarat air 0.70, 1.05 dan 1.4 cm
2. Model Kapal Wk 205  
Kapal ditarik dengan sarat air 0.8, 1.6 dan 2.4 cm
3. Model Kapal Typhoon  
Kapal ditarik dengan sarat air 0.56, 1.12 dan 1.7cm

Formula untuk membantu menyelesaikan penelitian ini:

Bilangan Reynolds adalah :

$$Re = V \cdot L / \nu \quad (1)$$

Bilangan Frouds adalah :

$$Fr = V / \sqrt{g \cdot L} \quad (2)$$

$$R_{\text{total}} = R_{\text{gesek}} + R_{\text{sisa}} \quad (3)$$

$R_{\text{gesek}}$  dapat dihitung dari data luas bidang basah permukaan kapal model, kecepatan, koefisien gesek

pada fungsi bilangan Reynolds, dan kekentalan air.  $R_{sisa}$  didapat dari hasil pengurangan persamaan 3, koefisien hambatan sisa  $C_r$  dapat diketahui.

Formula hambatan gesek:

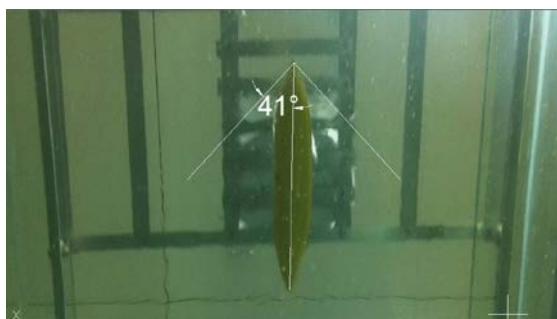
$$R_f = C_f (1/2 \rho S V^2) \quad (4)$$

Berdasarkan ITTC (International Towing Tank Conference) 1957, Koefisien gesek:

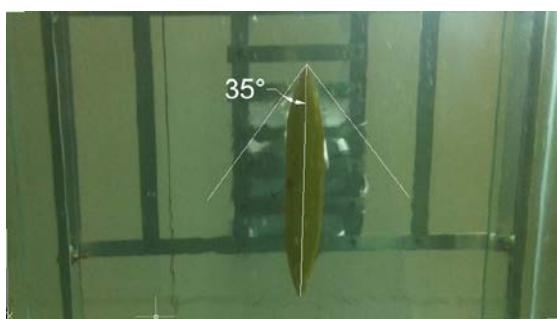
$$C_f = 0,075 / (\log Re - 2)^2 \quad (5)$$

## Hasil dan Pembahasan

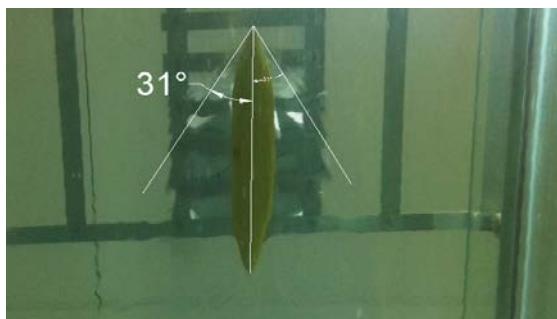
Kapal 1 (Le Plengoeur). Untuk mendapatkan hasil bentuk gelombang, didapat dari *high speed camera* yang diletakkan di bawah kolam. Berikut hasil foto dan berapa nilai sudut dengan bantuan *autocad*



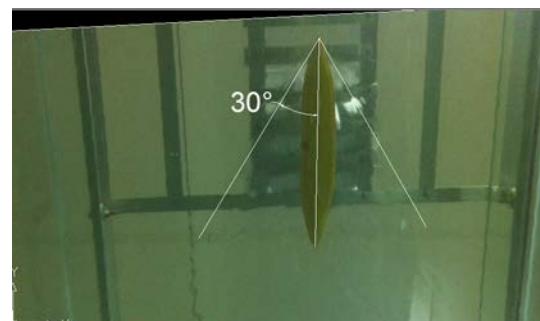
Gambar 5 Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.31 m/s sebesar  $41^\circ$



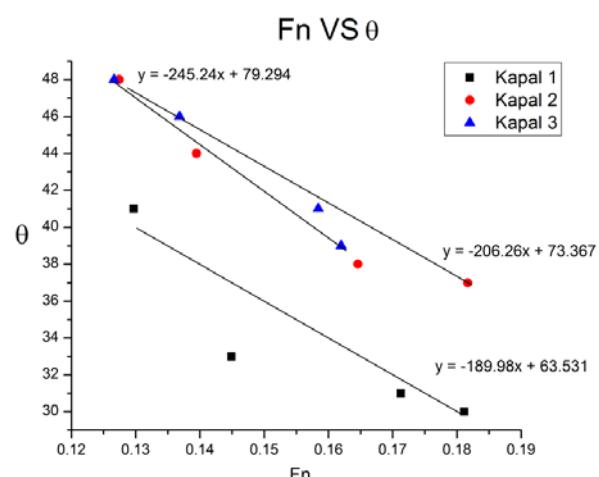
Gambar 6 Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.35 m/s sebesar  $35^\circ$



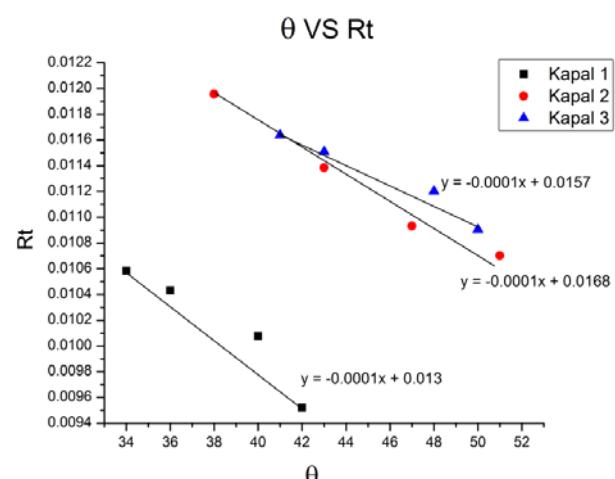
Gambar 7 Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.45 m/s sebesar  $31^\circ$



Gambar 8 Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.31 m/s sebesar  $30^\circ$



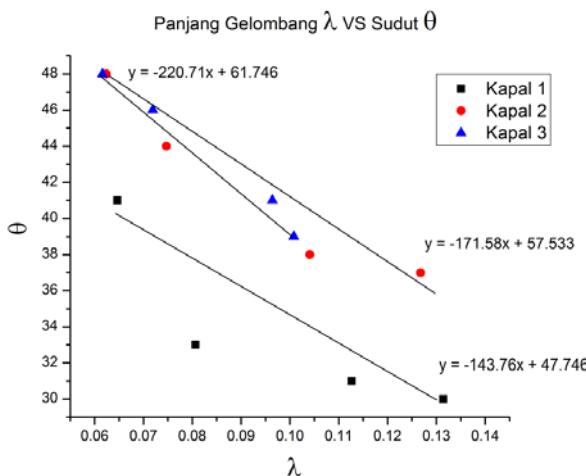
Gambar 9. Hubungan Fn dan  $\theta$  ketiga kapal pada displacement 0.044487 Kg



Gambar 10. Hubungan Rt dan  $\theta$  ketiga kapal pada displacement 0.044487 Kg

Gambar 9 dan 10 menunjukkan Hubungan antara koefisien sudut  $\theta$  dengan *Froude number* (Fr) menunjukkan grafik yang sama disetiap draft pada kapal yang berbeda dengan *displacement* yang sama,

yaitu grafik bertambah turun seiring bertambahnya *Froude number*. Semakin besar *Froude number* (Fr) semakin besar pula hambatan yang dilalui oleh kapal. Semakin besar hambatan semakin kecil pula sudut yang dihasilkan oleh ketiga kapal tersebut. Ini dikarenakan karena naiknya *Froude number* (Fr). Bisa juga dikatakan semakin besar *Froude number* (Fr) semakin besar pula hambatan totalnya dan semakin kecil sudut yang dihasilkan.



Gambar 11. Hubungan  $\theta$  dengan panjang gelombang ketiga kapal pada displacement 0.044487 Kg

Dari grafik diatas menunjukkan hubungan panjang gelombang dan sudut yang dihasilkan oleh kapal. Dapat dilihat semakin besar kecepatannya semakin kecil sudut yang dihasilkan yang dikarenakan semakin panjangnya panjang gelombang.

Dari ketiga kapal, kapal 1 memperoleh nilai dengan sudut yang kecil dari sudut yang lainnya, contohnya pada grafik *Froude Number* (Fn) Vs Sudut  $\theta$ . Pada grafik memperlihatkan kapal 1 lebih kecil sudutnya terhadap kecepatan dikarenakan *Coefficient Block* (Cb) yang kecil. Dari ketiga kapal Cb paling kecil ke yang besar adalah Cb kapal 1 ( $Cb = 0.69$ ), kapal 2 ( $Cb = 0.79$ ) dan kapal 3 ( $Cb = 0.82$ ). dari percobaan diatas *Coefficient Block* (Cb) juga mempengaruhi sudut  $\theta$  terhadap kecepatan, hambatan dan panjang gelombang.

## Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

Seiring bertambahnya *Froude number* dan hambatan total pada variasi draft dan kecepatan maka semakin kecil sudut yang dihasilkan. Semakin besar nilai panjang gelombang ( $\lambda$ ) semakin kecil sudut yang dihasilkan oleh tiga kapal selam yang berbeda.

Dari ketiga kapal selam, kapal 1 dengan  $Cb = 0.69$ , kapal 2  $Cb = 0.79$  dan kapal 3  $Cb = 0.82$ , nilai sudut  $\theta$  dan hambatan yang terkecil pada *displacement* yang sama didapat oleh kapal 1. Nilai hambatan dan sudut kecil dikarenakan nilai *coefficient block* (Cb) yang kecil. Jadi, semakin besar *coefficient block* (Cb) semakin besar pula sudut dan hambatan yang dihasilkan begitupula sebaliknya.

## Nomenklatur

Cb	Koefisien Blok	(-)
Fr	Froudes Number	(-)
Cf	Koefisien hambatan gesek	(-)
Cw	Koefisien hambatan gelombang	(-)
V	Kecepatan Kapal	(m/s)
$\theta$	Sudut Gelombang	(°)
Re	Reynolds Number	(-)
Rf	Hambatan gesek	(N)
Rt	Hambatan total	(N)

## Referensi

1. Faltinsen, Odd M. 2010. *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*. Cambridge: Cambridge University Press.
2. Harvald, S A. 1983. *Resistance and Propulsion of Ships*, John Wiley and Sons, Toronto, Canada.
3. Hogben, N dan Standing, R (1975), *Wave Pattern Resistance From Routine Model Tests*, Trans. RINA, Vol. 117.
4. ITTC (2002), *Recommended Procedure and Guidelines, Testing and Extrapolation Methodism Resistance Towing Tank Tests*, ITTC 7,5-02-02-02.
5. ITTC (2002), *Recommended Procedure and Guidelines, Model Manufacture: Ship Models*, ITTC 7,5-01-01-01.
6. Igor V. Shugan, Kwi Jo Lee, An Jung Sun. 2006. "Kelvin Wake in the Presence of Surface Waves". A 357 (2006) 232-235.
7. Ksenija Maver, Rudi Podgornik. 2004. *Kelvin Ship Wave*. Ljubljana: University of Ljubljana
8. Molland, A.F. (2008). *A Guide to Ship Design, Construction and Operation*. The Maritime Engineering Reference Book, Butterworth-Heinemann, Elsevier.
9. Parsons, Michael G. 2003. *Ship Design and Construction Volume II*. Jersey City : The Society of Naval Architect and Marine Engineering.