

# Analisa CFD Pengaruh Penambahan *Appendage* pada Lambung Katamaran terhadap Hambatan Viskos

Sony Anggara<sup>1</sup>, I.K.A.P. Utama<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)<sup>1,2</sup>

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: kutama@na.its.ac.id

**Abstrak**—Penambahan tonjolan (*appendages*) pada lambung kapal sering dimanfaatkan oleh para desainer untuk meningkatkan performa *seakeeping* kapal ketika beroperasi di air, seperti misalnya penggunaan pelat lajur bilga (*bilge keel*) dan tonjolan haluan (*bulbous bow*). Melakukan modifikasi semacam itu berarti mengubah bentuk model lambung dari tanpa tonjolan (*bare hull*) menjadi bentuk lambung yang lebih kompleks. Hal ini berpengaruh terhadap hambatan bentuk kapal yang secara langsung juga menentukan nilai hambatan viskos. Penelitian ini membahas mengenai seberapa jauh tingkat perubahan hambatan viskos akibat modifikasi bentuk lambung. Metode yang digunakan adalah simulasi pemodelan numerik CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan memanfaatkan model kapal katamaran yang dimodifikasi dengan menambahkan *bulbous bow* pada bagian depan. Kemudian panjang *bulbous bow* tersebut divariasikan dengan panjang 2% dan 4% dari panjang garis air (*Lwl*). Dari hasil simulasi diperoleh nilai hambatan viskos dan visualisasi tekanan fluida di sekitar model. perhitungan nilai koefisien bentuk (*form factor*)  $1+k$  juga disajikan sebagai bahan pendukung identifikasi. Tahap validasi yang digunakan adalah *grid independence* dan konvergensi. Hasil analisa menunjukkan bahwa perubahan bentuk lambung menunjukkan pengaruh yang relatif kecil terhadap hambatan viskos.

**Kata Kunci**—*Bulbous bow*, hambatan viskos, katamaran, koefisien bentuk, pemodelan numerik.

## I. PENDAHULUAN

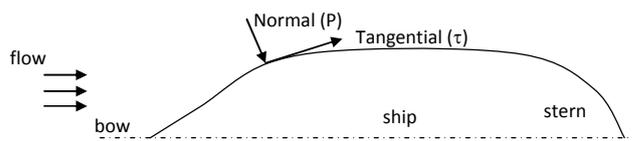
HAMBATAN kapal secara garis besar dapat didefinisikan sebagai suatu gaya yang bekerja melawan gerakan kapal. Gaya tersebut ditimbulkan akibat adanya kontak langsung antara kapal dan fluida. Hambatan kapal total dapat dibagi menjadi beberapa komponen, diantaranya adalah hambatan viskos ( $R_V$ ), gelombang ( $R_W$ ) dan udara ( $R_A$ ) [1]. Karena nilai hambatan udara sangat kecil, sekitar 4% dari hambatan total, maka perannya seringkali diabaikan [2]. Rumus hambatan dapat disederhanakan menjadi.

$$R_T = R_V + R_W \quad (1)$$

Tulisan ini difokuskan pada pembahasan mengenai hambatan viskos .

Hambatan viskos merupakan hambatan yang terjadi karena adanya efek viskositas fluida. Hambatan ini sering dipresentasikan sebagai koefisien  $C_V$ , memiliki 2 komponen utama yaitu hambatan gesek (*friction resistance*) dan hambatan bentuk atau yang sering dikenal sebagai hambatan

tekanan (*pressure resistance*) [3]. Kedua komponen tersebut memiliki arah sumbu kerja yang berbeda, komponen pertama bekerja pada arah mengikuti garis kontur lambung kapal (*stream line*) membentuk sudut terhadap arah aliran normal fluida (arah tangensial) yang disebut sebagai hambatan gesek, sedangkan komponen kedua bekerja sebagai gaya normal yang memiliki arah kerja tegak lurus dengan lambung kapal, disebut sebagai hambatan tekan. Komponen hambatan viskos



Gambar. 1. Komponen viskos resistance (Carlton, 2007).

ditunjukkan pada Persamaan (2) dan Gambar 1.

$$C_V = C_F + K C_F \quad (2)$$

*Hambatan gesek*

Hambatan gesek merupakan komponen hambatan yang terkait dengan gaya yang timbul akibat dari gesekan antara molekul fluida. Penyebab utama hambatan ini adalah viskositas, kecepatan kapal dan luas permukaan basah. Rumus umum dari hambatan gesek kapal menurut [2] adalah :

$$R_f = \frac{1}{2} \rho \cdot C_f \cdot S \cdot V^2 \quad (3)$$

Di mana  $\rho$  adalah masa jenis fluida,  $C_F$  koefisien hambatan gesek,  $S$  adalah luas permukaan basah dan  $V$  adalah kecepatan. Nilai atau besaran  $C_F$  didapatkan melalui eksperimen yang panjang di mana eksperimen yang dilakukan mengansumsikan luasan daerah lambung kapal yang tercelup air sebagai luasan dari pelat datar yang besarnya adalah sama [2]. Untuk model yang memiliki bentuk 3 dimensi, nilai  $C_F$  harus dikalikan dengan nilai koefisien bentuk sebagai implementasi dari bentuk lambung [4].

Dalam teori viskositas disebutkan keberadaan dari lapisan batas (*boundary layer*). Ketika kapal bergerak melawan fluida yang tenang, terbentuk sebuah lapisan tipis yang melekat pada permukaan lambung kapal yang tercelup fluida, lapisan ini memiliki kecepatan relatif nol terhadap lambung kapal. Sedangkan daerah fluida yang sangat jauh dari kapal bersifat tenang tidak bergerak. Variasi kecepatan fluida bergantung pada jarak antara daerah fluida tersebut terhadap lambung

kapal, kecepatan fluida menurun seiring dengan semakin jauhnya jarak terhadap kapal. Daerah di mana terjadi perubahan kecepatan fluida secara mendadak dinamakan lapisan batas [5]. Salah satu definisi mengenai lapisan batas yang dapat diterima dalam ilmu hidrodinamika menyebutkan bahwa tebal lapisan tersebut diukur sebagai jarak dari permukaan struktur body, dalam hal ini lambung kapal, hingga daerah fluida yang memiliki kecepatan 1% dari kecepatan kapal [5]. variasi kecepatan fluida menyebabkan terjadinya gesekan antara molekul fluida yang sifatnya menghambat laju dari kapal, hambatan ini dinamakan hambatan gesek.

*Hambatan tekanan/ bentuk*

Komponen kedua dari hambatan viskos adalah komponen yang bekerja ke arah normal lambung kapal yang disebut hambatan tekanan, nilainya dipengaruhi oleh nilai tekanan yang bekerja pada lambung kapal di bawah permukaan air. Besarnya tekanan pada bagian depan sangat besar karena lambung langsung berhadapan dengan fluida, kecepatan fluida bertambah ketika fluida mengalir melewati lambung kapal, dan ketika melewati ujung belakang, fluida mengalami tekanan yang lebih kecil dibandingkan dengan tekanan di daerah haluan. Tekanan yang bekerja ke arah normal menghasilkan ulean (*eddy*) di daerah belakang lambung kapal.

Selain pemahaman komponen hambatan seperti di atas, hal penting yang juga dipahami dalam tulisan ini adalah peran koefisien bentuk, konstanta ini menggambarkan pengaruh bentuk lambung kapal terhadap hambatan kapal. Koefisien bentuk dari katamaran lebih besar dibandingkan dengan *demihull*-nya akibat adanya efek interferensi, di mana selisih keduanya dapat mencapai 10% [1]. Nilai koefisien bentuk dapat ditentukan berdasarkan formula berikut ini [6];

$$C_T = C_V + C_W. \tag{4}$$

$$C_T = (1 + \phi k)\sigma C_F + \tau C_M. \tag{5}$$

menjelaskan mengenai besarnya perubahan daerah bertekanan (*pressure field*) disekitar demihull dan merupakan konstanta yang menjelaskan penambahan kecepatan fluida (*velocity augmentation*) di antara kedua lambungnya. Untuk tujuan praktis keduanya dapat dikombinasi menjadi faktor interferensi viskos (*viscos interference factor*). Sedangkan untuk *demihull/monohull* nilai dan sama dengan 1 sehingga koefisien bentuk dapat dituliskan dengan  $(1+k) C_F$  tanpa faktor interferensi. adalah koefisien interferensi hambatan gelombang yang dinyatakan dengan metode linear oleh [6]. Apabila rumus di atas dijabarkan kembali maka didapat :

$$(C_V)_{mono} = (1 + k)C_F. \tag{6}$$

$$(C_V)_{cat} = (1 + \beta k)C_F. \tag{7}$$

$(C_V)_{mono}$  berlaku untuk *monohull* atau masing-masing *demihull*-nya, dan  $(C_V)_{cat}$  digunakan untuk model katamaran.  $\beta$  merupakan konstanta interferensi viskos akibat 2 *demihull* yang bergerak bersama. Sedangkan  $C_F$  adalah koefisien hambatan gesek.  $C_F$  dapat dihitung menggunakan rumus [2] :

$$C_f = \frac{0.075}{(\log(Re)-2)^2}. \tag{8}$$

$$Re = \frac{LVs}{\nu}. \tag{9}$$

Re = Reynolds number

L = Lpp dalam satuan meter

Vs = Kecepatan kapal dalam satuan m/s

$\nu$  = viskositas kinematik

=  $1.18831 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  untuk air tawar

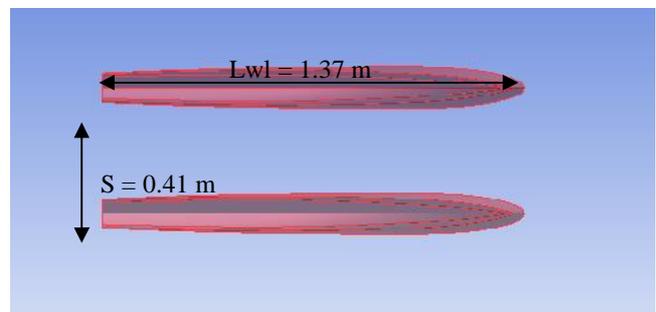
Koefisien bentuk dapat ditentukan dengan menggunakan perhitungan langsung melalui rumus  $C_V/C_F$ , metode ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [3].

II. METODE PENELITIAN

*Model Katamaran*

Dalam tulisan ini digunakan 3 model yang terdiri dari 1 model utama dan 2 model hasil modifikasi menggunakan *bulbous bow* dengan variasi panjang 2% dan 4 % Lwl. Sebagai perjanjian awal untuk memudahkan penyebutan digunakan penamaan khusus untuk ketiga model di atas yaitu NB untuk model tanpa *bulbous bow*, B2 untuk model dengan *bulbous bow* panjang 2% Lwl dan B4 untuk model katamaran menggunakan *bulbous bow* panjang 4% Lwl.

Model lambung katamaran NB yang telah disimulasikan pada tulisan ini adalah desain yang diadopsi dari penelitian [7], dengan rasio S/L 0,3. S merupakan jarak demihull (0.41



Gambar. 2. Model katamaran S/L = 0.3.

m) dan L adalah panjang kapal. Bentuk model dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1 menunjukkan data hidrostatis dari *demihull* model katamaran.

Tabel 1  
Data Hidrostatik Demihull

| No | Dimensi                   | Nilai  | Satuan         |
|----|---------------------------|--------|----------------|
| 1  | Displasemen               | 14.400 | Kg             |
| 2  | Volume                    | 14.096 | m <sup>3</sup> |
| 3  | Sarat                     | 0.078  | m              |
| 4  | Lwl (panjang garis air)   | 1.372  | m              |
| 5  | Lebar                     | 0.553  | m              |
| 6  | WSA (luasan tercelup)     | 0.513  | m <sup>2</sup> |
| 7  | WPA (waterplan area)      | 0.272  | m <sup>2</sup> |
| 8  | Cp (koef. Perismatik)     | 0.732  |                |
| 9  | Cb (koef. Block)          | 0.537  |                |
| 10 | Cm (koef. Midship)        | 0.790  |                |
| 11 | Cwp (koef. water plan)    | 0.809  |                |
| 12 | LCB (length center bouy.) | 0.582  | m              |
| 13 | KB (keel buoyancy)        | 4.950  | m              |

*Desain bulbous bow 2% Lwl*

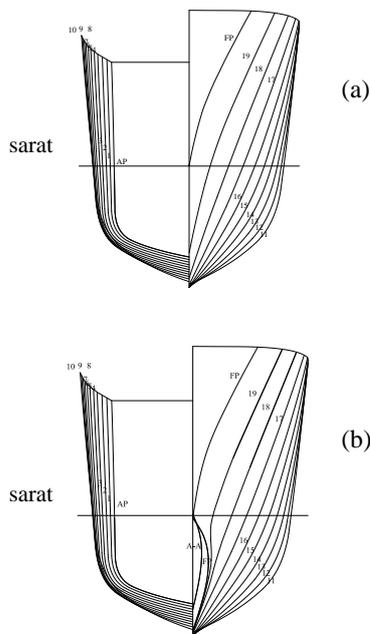
Pemakaian *bulbous bow* diterapkan pada model NB yang selanjutnya disebut sebagai model B2 dan B4. Adapun deskripsi ukuran dari *bulbous bow* yang digunakan diadopsi dari sebuah penelitian oleh [8]. Dimensi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2  
Dimensi *bulbous bow* 2% Lwl

| Dimensi <i>bulbous bow</i>            | presentase       |
|---------------------------------------|------------------|
| Panjang                               | 2% Lwl           |
| Cross Sectional Area di FP            | 11% Midship Area |
| Tinggi bagian yang muncul             | 0.4% Lwl         |
| Cross sectional area di bagian timbul | 9 % Midship Area |

Hal yang perlu menjadi perhatian adalah posisi dari bagian *bulbous bow* yang timbul di atas permukaan air, bagian ini diposisikan pada titik 0.8 panjang *bulbous bow* dari garis tegak haluan (*Forward Perpendicular*).

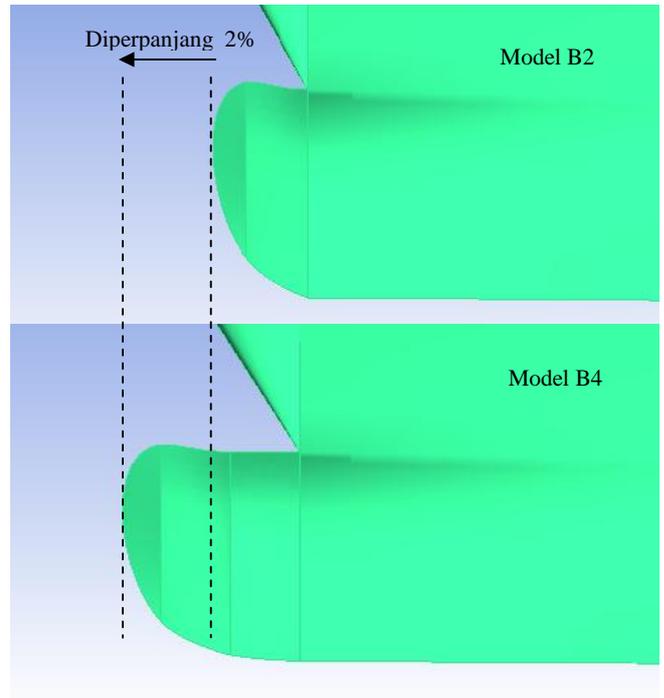
Akibat keberadaan tonjolan ini maka luasan permukaan basah (WSA) bertambah. Untuk mempertahankan luasan tersebut agar sama dengan model katamaran tanpa *bulbous bow*, maka harus terjadi pengurangan sarat. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, penurunan sarat untuk mempertahankan nilai WSA adalah sebesar 3.891 mm, dibulatkan menjadi 3.9 mm. Sehingga sarat model kapal katamaran setelah dimodifikasi dengan *bulbous bow* 1 = 2% Lwl (model B2) menjadi 74 mm dari semula 78 mm. Selisih displasemen sebelum dan sesudah instalasi *bulbous bow* beserta penurunan sarat adalah 0.058 % dari displasemen awal



Gambar. 3. (a) Lines plan sebelum dan (b) sesudah penambahan *bulbous bow* 2% Lwl

*Desain bulbous bow 4% Lwl*

Variasi model yang kedua adalah modifikasi *bulbous bow* dengan panjang 4% Lwl yang selanjutnya disebut sebagai model B4. Bentuk *bulbous bow* ini didapat dengan menarik model *bulbous bow* yang telah didesain sebelumnya dengan panjang 2% Lwl sejauh 2% Lwl lagi ke depan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

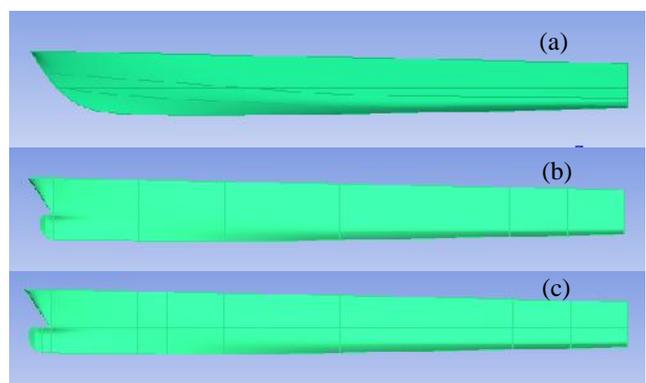


Gambar. 4. Modifikasi model B4 dari model B2.

Seperti pada model B2 perlu dilakukan penurunan sarat sejauh 4.89 mm dari sarat model NB menjadi 73.11 mm dibulatkan menjadi 73 mm. Sehingga didapatkan WSA dan volume displasemen yang hampir sama dengan model sebelumnya. Dengan hanya berselisih 0.008% terhadap WSA model NB dan 0.81% terhadap displasemen model utama NB.

*Model NB, B2 dan B4*

Gambar 5 menunjukkan perbandingan dari ketiga model



Gambar. 5. (a) model NB, (b) model B2 dan (c) model B4.

*Proses Simulasi*

Simulasi dilakukan dengan menggunakan software CFD. Simulasi menggunakan CFD disesuaikan dengan kondisi ketika pengujian menggunakan *wind tunnel* (Meskipun pada penelitian ini tidak melakukan pengujian dengan *wind tunnel*) yaitu dengan menggunakan 1 jenis fluida yang mengalir pada terowongan [9]. Fluida yang dipakai adalah air. Bagian lambung yang melakukan kontak dengan fluida hanyalah bagian yang menyentuh air sehingga hambatan viskos dapat langsung diketahui tanpa harus melakukan perhitungan lagi. Adapun variasi angka Froude (Fr) yang digunakan 0.18; 0.28; 0.38; 0.47; 0.56; 0.65.

*Proses Validasi*

Untuk memastikan bahwa metode dan hasil dari simulasi CFD adalah benar, maka diperlukan proses validasi. Ada 2 proses dalam validasi yaitu [10],

*Konvergensi*, adalah pengaturan persamaan *solver control* untuk meminimalisir error pada hasil simulasi. Proses perhitungan atau disebut sebagai proses iterasi pada tahap *flow solver* dilakukan jika semua data kondisi batas telah ditentukan. Banyaknya proses iterasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang dapat diperoleh. Penentuan banyaknya iterasi dipengaruhi oleh tingkat ketelitian dari model yang telah dibuat. Semakin banyak jumlah grid yang dipakai dalam pemodelan maka semakin banyak pula iterasi yang perlu dilakukan untuk perhitungan model tersebut. Proses iterasi berhenti jika telah mencapai batas konvergensi yang telah ditentukan. Pada proses ini perhitungan dilakukan hingga menuju nilai error terkecil atau didapatkan nilai yang konvergen. Kriteria konvergensi yang digunakan dalam proses iterasi menggunakan Ansys CFX adalah  $10^{-5}$ .

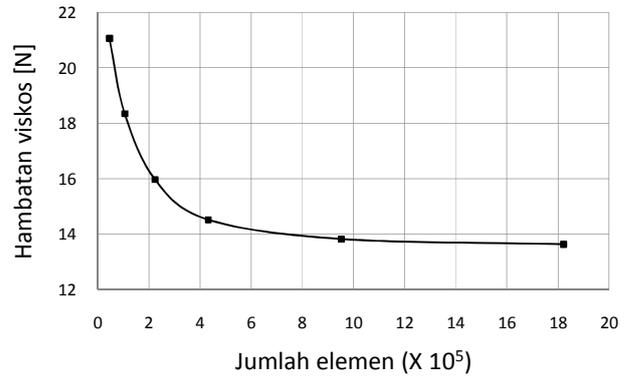
*Grid Independence* adalah suatu metode untuk menentukan titik optimum dari suatu nilai percobaan. Perlu dipahami bahwa penggunaan jumlah elemen dalam pemodelan numeric mempengaruhi hasil. Semakin banyak elemen maka hasil semakin akurat namun waktu running menjadi semakin lama. Titik optimum adalah titik dimana hasil menunjukkan kekuratan dengan jumlah elemen seminimum mungkin. Menurut [3], *grid independence* mencapai posisi optimum apabila selisih perbedaan nilai hambatan antara suatu jumlah elemen dengan elemen sebelumnya kurang dari 2%. Pada tulisan ini didapatkan batas optimum senilai 1.4% seperti di tunjukkan pada Tabel 3.

Tabel3  
Pengaruh Jumlah Elemen terhadap Hasil

| Percobaan ke- | 1     | 2    | 3     | 4      | 5     | 6    |
|---------------|-------|------|-------|--------|-------|------|
| Jumlah elemen | 0.46  | 1.06 | 2.24  | 4.32   | 9.52  | 18.2 |
| Hasil $R_v$ * | 21.06 | 18.3 | 15.96 | 14.515 | 13.81 | 13.6 |
| % $R_v$       | -     | 14.8 | 11.4  | 9.6    | 4.8   | 1.4  |

Nilai R dikalikan  $10^5$  dalam satuan Newton

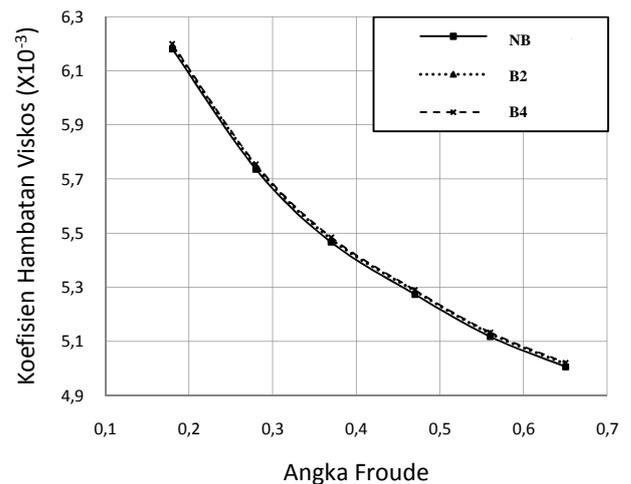
untuk mencapai titik optimum, *Grid Independence* dari 1 fluida membutuhkan element sebanyak 1825600 elemen. Kurva *grid independence* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar. 6. *Grid Independence study*.

III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil simulasi dengan menggunakan 1 fluida menghasilkan grafik hambatan viskos yang dipresentasikan dengan koefisiennya seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Hambatan



Gambar. 7. Koefisien hambatan viskos hasil simulasi CFD.

dikonversi menjadi koefisien dengan menggunakan rumus umum hambatan.

$$R_v = \frac{1}{2} \rho \cdot C_v \cdot S \cdot V^2 \tag{10}$$

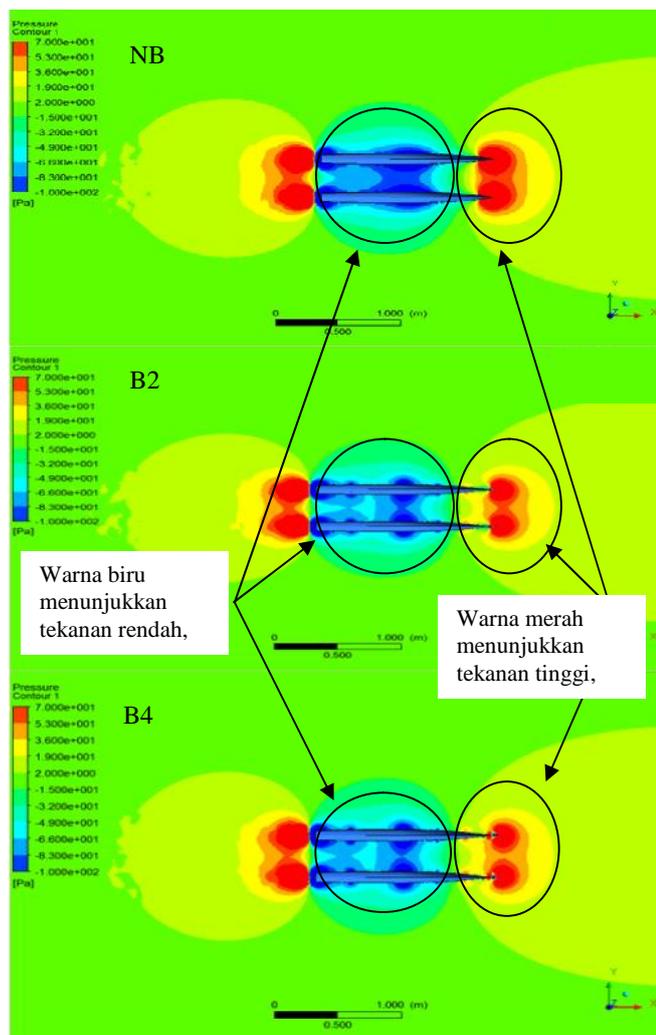
Telah dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa ketiga model ini didesain supaya memiliki volume displasemen dan luasan WSA (*Wetted Surface Area*) yang sama sehingga tidak ada pengaruh WSA terhadap  $R_v$ . Dalam hal ini dapat dinyatakan bahwa tidak terdapat pengaruh luasan WSA terhadap harga hambatan viskos. Seiring bertambahnya kecepatan kapal, nilai hambatan viskos terus bertambah. Pertambahan ini ditandai dengan menurunnya koefisien  $C_v$ , penyebab penurunan  $C_v$  adalah nilai kuadrat kecepatan sebagai pembagi hambatan viskos yang semakin besar seiring dengan pertambahan nilai hambatan,  $R_v = \frac{1}{2} C_v WSA V^2$ . Hal tersebut sesuai dengan percobaan [1]. Selama proses kenaikan nilai hambatan viskos dari  $Fr = 0.18 - 0.65$ , nilai  $R_v$

model B4 selalu berada pada posisi tertinggi, diikuti model B2 dan kemudian NB meskipun perbedaan dari ketiganya sangat kecil. Besarnya perbedaan  $R_V$  antara model NB dan B2 adalah 0.02% serta NB dan B4 adalah 0.03% pada  $Fr$  0.66.

Hambatan viskos terus menanjak dengan bertambahnya kecepatan. Pada kecepatan tinggi besarnya gaya gesek bernilai tinggi juga. Hal ini sesuai dengan hukum Newton II yang diturunkan lebih lanjut menjadi persamaan energi kinetik. Secara umum besarnya energi kinetik dipengaruhi oleh masa dan kecepatan fluida. seperti tertulis :

$$E = \frac{1}{2} m V^2 \quad (11)$$

Dari persamaan (11) dapat diketahui bahwa semakin tinggi kecepatan fluida dengan masa yang konstan maka energi semakin bertambah. Mengingat bahwa energi merupakan besaran turunan dari gaya dikalikan jarak  $E = F.S$ , dan biasa disebut sebagai “usaha” memiliki satuan Joule, maka dengan menganggap bahwa jarak adalah konstan, yang berarti setiap molekul fluida menempuh jarak sepanjang lambung kapal dan nilainya selalu konstan maka besarnya gaya gesek semakin besar apabila kecepatannya bertambah.



Gambar 8. Distribusi tekanan ketiga model pada  $Fr = 0.65$ .

Perbedaan nilai  $C_V$  yang tipis terjadi karena WSA dari ketiga model tersebut sama. Sedangkan selisih itu sendiri ditimbulkan akibat perbedaan bentuk model setelah penambahan *bulbous bow*, di mana bentuk model berpengaruh terhadap nilai hambatan bentuk ( $kC_F$ ).  $k$  adalah koefisien bentuk, perbedaan nilai  $k$  dapat ditunjukkan dari hasil perhitungan pada saat model disimulasikan dengan kecepatan rendah ( $Fr < 0.2$ ). Pada kondisi kecepatan rendah hambatan gelombang dapat diabaikan karena sistem gelombang memang belum terbentuk pada kecepatan rendah, sehingga dapat diasumsikan bahwa hambatan total disusun hanya oleh hambatan viskos,  $C_T = (1 + k) C_F$ . Dengan sendirinya koefisien bentuk  $1 + k$  bisa ditulis dengan formulasi  $C_T/C_F$  pada kecepatan rendah ( $Fr = 0.18$ ). Nilainya berturut-turut dari model NB, B2 dan B4 adalah 1.253 ; 1.256 ; 1.257. Sedangkan nilai untuk variasi kecepatan lainnya tidak jauh berbeda [1]. Dengan melihat kembali rumusan  $C_V = (1 + k) C_F$ , di mana nilai  $C_F$  konstan karena WSA sama, nilai  $1 + k$  memberikan peran paling besar, dapat disepakati bahwa hambatan bentuk yang direpresentasikan dengan nilai  $1 + k$  bernilai tertinggi pada model B4, diikuti B2 dan paling kecil model NB. Ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan nilai  $C_V$  yang lebih besar adalah model B4 diakibatkan oleh nilai hambatan bentuknya yang dominan dalam kasus ini.

Hambatan bentuk itu sendiri tidak lain adalah hambatan yang bekerja searah bidang normal lambung model. Kaitannya sangat erat dengan hambatan tekanan viskos (*viscos pressure resistance*/ $C_{VP}$ ). Nilai  $C_{VP}$  bergantung pada tekanan dari tekanan fluida di daerah sekitar lambung model.

Gambar 8 menunjukkan bahwa keberadaan *bulbous bow* mampu merubah bentuk distribusi tekanan di tengah kedua *demihull*. Model B4 dan B2 menunjukkan warna biru lebih sedikit (daerah yang dilingkari) dibanding model NB, yang berarti tekanan di sekitar model kapal meningkat dengan keberadaan *bulbous bow* hingga mampu mengubah hambatan  $C_{VP}$  semakin besar. Kenaikan  $C_{VP}$  ditandai dengan nilai koefisien bentuk yang semakin tinggi.

Perubahan distribusi tekanan terjadi karena adanya efek interferensi dari masing-masing *demihull*, seperti ditunjukkan rumus  $C_V = (1 + k) C_F$ , adalah nilai perubahan daerah bertekanan (*pressure field*). Nilai hambatan bentuk  $kC_F$  model B4 lebih tinggi dibandingkan model B2 dikarenakan efek *viscos interference* oleh model B4 bersifat lebih menguatkan daripada model B2. Penguatan ini terjadi karena bentuk *bulbous bow* dari model B4 yang lebih panjang, mengakibatkan presentase kemungkinan interferensi ke lambung belakangnya lebih besar. Hal ini juga dapat dibuktikan dengan melihat kembali distribusi tekanan pada Gambar 8 yang menunjukkan bahwa tekanan dibagian *inner hull* untuk model B4 lebih tinggi dibandingkan dengan model B2, sehingga memperlihatkan efek interferensi hambatan viskos yang lebih besar dibanding model B2.

Fluida di daerah haluan kapal pada Gambar 8 menunjukkan tekanan yang relatif tinggi yang dipresentasikan oleh kontur berwarna merah. Luasan warna merah semakin berkurang dari

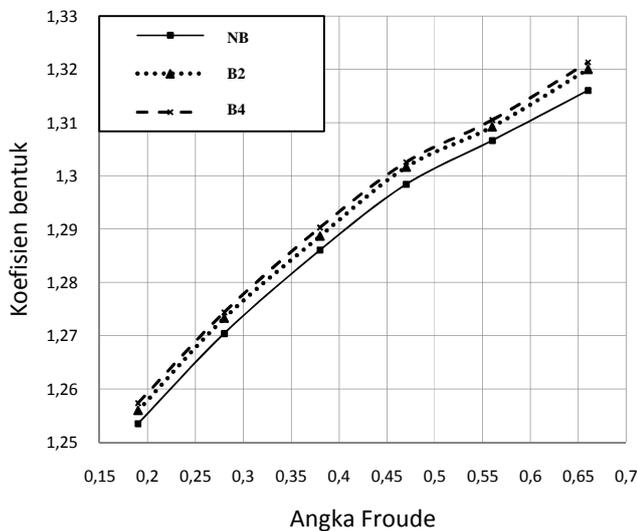
model NB, B2 hingga B4. Model B2 memiliki luasan yang lebih sempit dibanding NB, dan B4 lebih sempit dibanding B2. Pengurangan luasan tersebut menunjukkan bahwa keberadaan *bulbous bow* menimbulkan pengurangan daerah bertekanan di haluan, hal ini berlawanan dengan efek *bulbous bow* dibagian tengah antar *demihull*. Efek kerja *bulbous bow* di tengah dan haluan model berkombinasi mengakibatkan kenaikan hambatan viskos, yang berarti efek menaikkan tekanan lebih dominan.

Pada kecepatan tinggi nilai hambatan viskos antara NB, B2 dan B4 menunjukkan perbedaan yang semakin jelas, meskipun tetap pada porsi yang kecil. Dalam terapannya di lapangan, sistem gelombang mempengaruhi nilai hambatan viskos dengan cara mengubah luasan WSA, khususnya pada kecepatan tinggi. *Bulbous bow* pada model B2 dan B4 telah mengubah sistem gelombang sehingga menghasilkan WSA yang berbeda dari masing-masing model untuk kecepatan yang sama.

Selain itu dijelaskan oleh [3], pada hasil percobaannya menggunakan model katamaran dengan *wind tunnel* diungkapkan bahwa terdapat efek interaksi viskositas akibat kedua *demihull*-nya yang pada akhirnya berpengaruh terhadap hambatan viskos.

*Koefisien bentuk*

Koefisien bentuk menggambarkan bentuk lambung dari model yang dirancang. Berbeda dengan kapal single hull yang



Gambar. 9. Koefisien bentuk model NB, B2 dan B4.

nilai hambatan hanya diakibatkan oleh lambung tunggalnya sendiri, koefisien bentuk untuk kapal katamaran juga harus mempertimbangkan efek interferensi akibat masing-masing lambungnya. Terlihat seperti pada Gambar 9 bahwa koefisien bentuk untuk model B4 dengan modifikasi paling ekstrim menunjukkan nilai yang besar dibanding dengan model lainnya, yang berarti efek dari penambahan *bulbous bow* yang ekstrim mengakibatkan semakin besarnya hambatan viskos.

Hal ini sesuai dengan uraian sebelumnya mengenai penambahan tekanan disepanjang kapal akibat penambahan *bulbous bow*, di mana apabila tekanan bertambah maka hambatan tekanan/bentuk menjadi bertambah dan hambatan viskos juga demikian.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan pembahasan di atas, diketahui bahwa CFD mampu mendemonstrasikan dan menunjukkan efek penambahan *bulbous bow*. Dalam kasus ini, perubahan hambatan viskos relatif kecil karena model yang digunakan hanya satu macam yang divariasikan dengan penambahan persentase panjang. Penambahan yang signifikan diduga akan terjadi bila digunakan bentuk bulb yang berbeda. Informasi ini sangat penting sebagai bahan pertimbangan pemasangan *bulbous bow* pada kapal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis secara khusus mengucapkan terima kasih kepada Dr. Andi Jamaluddin selaku peneliti senior pada Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (LHI) di Surabaya yang telah meminjamkan model katamaran kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Couser, P. R., Molland, A. F., Armstrong, N. A. & Utama, I. K. A. P. "Calm Water Powering Prediction for High Speed Catamarans". In Fast '97. Sydney, Australia. (1997).
- [2] Lewis, Edward V., "Principles of Naval Architecture Volume II: Resistance, Propulsion and Vibration". Society of Naval Architects & Marine Engineers, (1988).
- [3] Utama, I. K. A. P. & Molland, A. F., "Experimental and Numerical Investigations into Catamaran Viscous Resistance". Fast 2001, (2001) 295-301.
- [4] Couser, P. R., Molland, A. F., Armstrong, N. A. & Utama, I. K. A. P., "Calm Water Powering Prediction for High Speed Catamarans". In Fast '97. Sydney, Australia, (1997).
- [5] Rawson, K. J. & Tupper E. C. "Basic Ship Theory". Butterworth-Heinemann, (2001).
- [6] Insel, M. & Molland, A. F., "An Investigation into Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans". Trans. Royal Institute of Naval Architects. Vol 134, (1992)1-20.
- [7] Jamaluddin, A., Utama, I. K. A. P. & Molland, A. F. "Experimental Investigation into The Drag Characteristics of Symmetrical and Asymmetrical Staggered and Unstaggered Catamaran". International Conference on Ship & Offshore Technology (ICSOT)-Indonesia 2010. Surabaya, Indonesia, (2010).
- [8] Kanerva, M. 2000. "The Future of Ship Design". MPI Group, Basingtoke, UK.
- [9] Utama, I. K. A. P., Jamaluddin, A & Sutiyo. "Development of Free-Surface CFD Modelling into the Breakdown of Ship Resistance Components". Quality in Research (QiR) Conference, Bali, 4-7 July (2011).
- [10] AIAA, G. 007., "Guide for The Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations". NPARC, (1998).