

# Analisis *Sideforce* Kapal Katamaran Jenis *Flat Side Inside* dan Simetris Terhadap Performa *Maneuvering* Kapal dengan Metode CFD

Aryo Tri Septya Nugraha dan I Ketut Aria Pria Utama

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail:* kutama@na.its.ac.id

**Abstrak**—Kapal katamaran memiliki berbagai kelebihan dalam aspek hidrodinamika kapal secara teknis. Variasi konfigurasi lambung katamaran asimetris *flat side inside* dan lambung kapal katamaran simetris memberikan dampak yang berbeda dengan adanya pengaruh *sideforce* yang ada pada kapal katamaran. *Sideforce* yang mengenai setiap *demihull* dapat bersifat menghambat, mengingat adanya *induced drag* dari kedua *demihull* yang bersifat menghambat laju kapal. Kapal katamaran yang memiliki pengaruh dari perbandingan jarak melintang kapal dengan panjang kapal (S/L) sehingga dilakukan penelitian untuk S/L = 0.2, S/L = 0.3 dan S/L = 0.4. Selain hubungan pengaruh *sideforce* dengan variasi jenis lambung kapal *sideforce* juga mampu memberikan pengaruh dalam *maneuvering* kapal. Dalam proses *maneuvering*, kapal mengalami kondisi dimana kapal berbelok sehingga penelitian disimulasikan dalam variasi sudut kemiringan, yaitu pada sudut kemiringan 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12°, 14° terhadap sumbu Z. Dalam simulasi yang dilakukan dengan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)* diperoleh nilai *sideforce* yang selanjutnya diubah menjadi nilai *sideforce coefficient* (CSF). Selain diperoleh nilai dari *sideforce coefficient* (CSF) juga diperoleh nilai CT, dimana nilai CSF diperoleh berdasarkan besarnya nilai *force* pada sumbu y, atau sumbu yang sejajar dengan arah melintang kapal. Sedangkan nilai CT diperoleh berdasarkan nilai besarnya *force* berdasarkan sumbu x, atau sumbu yang sejajar dengan arah memanjang kapal. Perbedaan konfigurasi lambung pada kapal katamaran dapat menyebabkan nilai *sideforce* dan nilai CSF yang berbeda. Kapal katamaran asimetris *flat side inside* memiliki nilai *sideforce* yang lebih besar dibandingkan dengan kapal katamaran simetris. Pada kapal katamaran simetris dan asimetris *flat side inside* pada sudut kemiringan 2°, 4°, 6° nilai CSF lebih kecil daripada nilai CT. Pada sudut kemiringan 8°, 10°, 12°, 14° CSF memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai CT.

**Kata Kunci**—Katamaran, *Sideforce*, *Sideforce Coefficient* (CSF), *Maneuvering*, CFD.

## I. PENDAHULUAN

PENGGUNAAN kapal katamaran sebagai alternatif baru dalam memberikan solusi yang efisien dalam banyak bidang dengan berbagai kelebihan yang dapat di berikan. Tidak hanya kelebihan dalam hal kenyamanan penumpang namun juga kelebihan dalam aspek hidrodinamika kapal secara teknis. Kapal katamaran *flat side inside* adalah salah satu konfigurasi lambung kapal katamaran dimana pada bagian *bridge* atau *tunnel* kapal memiliki bentuk datar. Dengan mengguakan prinsip kapal *monohull* yang dijadikan katamaran konfigurasi lambung ini memberi keuntungan

dengan adanya permukaan area geladak yang lebih luas dibandingkan dengan kapal *monohull* serta memiliki tingkat stabilitas yang lebih tinggi [1]. Selain kapal katamaran *flat side inside* adapun katamaran simetris, dimana lambung kapal berbentuk simetris, sehingga dapat memberikan dampak yang signifikan pula untuk performa kapal.

Gelombang memberikan efek yang signifikan pada kapal yang sedang bergerak. Dengan adanya gelombang maka secara langsung mempengaruhi *maneuvering* kapal, dimana dalam pergerakan *maneuvering* kapal maka kapal akan mengalami variasi sudut belokan yang dapat mengubah arah gerak kapal. Pengaruh gelombang tersebut maka akan memberikan dampak yang signifikan pada performance kapal.

Perkembangan teknologi dalam bidang perkapalan dapat mendukung proses analisa memanfaatkan perkembangan teknologi adalah perhitungan numerik dengan menggunakan apa yang disebut *Computational Fluid Dynamics (CFD)* yang memanfaatkan perkembangan teknologi berkecepatan tinggi [2]. Teknik CFD memungkinkan penyelidikan sebuah model dengan ketelitian yang sangat tinggi tetapi dengan konsekuensi memerlukan kapasitas memori komputer yang tinggi pula.

Dengan efisiensi konfigurasi lambung katamaran *flat side inside* dan lambung kapal katamaran simetris, maka perlu dianalisa mengenai hubungan pengaruh *sideforce* dengan variasi konfigurasi lambung kapal. Pengaruh *sideforce* akan memberikan perbedaan yang berbeda pada jarak radius *maneuvering* kapal yang memiliki konfigurasi lambung yang berbeda. Aliran fluida yang dibedakan menjadi aliran laminar dan aliran turbulen menjadi dasar utama *maneuvering* kapal serta performa kapal.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Kapal Katamaran

Kapal katamaran memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan kapal *monohull*. Kapal katamaran memiliki luasan geladak yang lebih luas dan tingkat stabilitas melintang yang lebih baik dibandingkan dengan kapal (*monohull*), kapal katamaran memberikan kebebasan pada aspek desain bentuk lambung kapal dan dimensi dari *demihull* untuk meningkatkan stabilitas transversal. Aspek desain yang fleksible ini membuat katamaran dapat didesain relative asimetris terhadap *centerplane* [1]. Secara umum terdapat tiga macam bentuk dasar dari lambung katamaran yang dapat diadopsi, yaitu:

- Katamaran Simetris, katamaran simetris merupakan desain bentuk lambung katamaran yang diadaptasi langsung dari variasi bentuk lambung konvensional.
- Katamaran Asimetris, katamaran asimetris merupakan bentuk katamaran yang dikembangkan dengan menggeser volume *displacement* asimetris didalam atau diluar *centerline demihull* untuk mengurangi efek interferensi yang merugikan antar demihull.
- Katamaran Asimetris Penuh, katamaran asimetris penuh merupakan bentuk lambung yang diperoleh dengan menggeser semua *volume displacemen* dari simetris hull ke salah satu sisi *centerline* seperti membagi *monohull* menjadi dua bagian *centerline*. Bentuk ini juga disebut separuh *monohull* atau lambung sobek.

**B. Sideforce**

*Sideforce* atau gaya samping (gaya sejajar dengan sumbu-y) yang dihasilkan dapat diprediksi dengan menggunakan pendekatan Lighthill, yang menunjukkan bahwa distribusi kekuatan sisi dapat dinyatakan dalam bentuk "koefisien massa tambahan" [3]. Selain *sideforce* gaya angkat pada kapal dapat mempengaruhi performa *maneuvering* kapal sehingga kapal memiliki performa yang berpengaruh terhadap olah gerakannya, gaya angkat inilah yang disebut dengan *lift*. Dimana gaya angkat merupakan gaya yang tegak lurus terhadap arah pergerakan kapal. Dengan demikian gaya hambat berlawanan dengan arah pergerakan benda, dan dalam sebuah kendaraan yang digerakkan mesin di atasi dengan gaya dorong atau *drag*.

Penelitian mengenai *sideforce* difokuskan terutama untuk menghitung *induced drag* dan gaya samping (*sideforce*) pada katamaran. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa *induced drag* yang ditimbulkan katamaran dapat diabaikan namun *sideforce* yang dihasilkan cukup signifikan. *Sideforce* yang dihasilkan menurun dengan cepat ketika adanya peningkatan jarak antara lambung. Koefisien *sideforce* terdiri dari *yaw angle* pada variasi kecepatan kapal katamaran serta WSA (*wet surface area*) pada *single demihull* [4]. Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$sideforce\ coefficient\ (CI) = \frac{side\ force}{\frac{1}{2} \mu WSA U^2} \tag{1}$$

$$sideforce\ coefficient\ (CI) = \frac{Drag\ at\ incident - Drag\ at\ zero\ incident}{\frac{1}{2} \mu WSA U^2} \tag{2}$$

**C. Computational Fluid Dynamics (CFD)**

CFD adalah metode perhitungan, memprediksi dan pendekatan aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer berkecepatan tinggi. CFD juga didefinisikan sebagai suatu proses analisa terhadap suatu sistem tertentu yang melibatkan masalah perpindahan panas, aliran fluida, distribusi kecepatan dan fenomena terkait dengan dinamika fluida dimana proses perhitungan dan analisa dilakukan dengan menggunakan komputer [2].

Program CFD terdiri dari tiga tahap yaitu : *Pre-processor*, *Processor*, dan *Post-processor*. *PreProcessor*, merupakan tahap dimana data dimasukkan mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition*. Pada tahap ini juga sebuah obyek atau

benda dan ruangnya yang melingkupinya akan dianalisis dibagi-bagi dengan jumlah *grid* tertentu. Hal ini sering disebut dengan *meshing*. *Processor*, merupakan tahap dilakukannya proses perhitungan data-data *input* degan persamaan yang terlibat secara iterative. Pada tahap ini perhitungan dilakukan hingga menuju *error* terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Perhitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit. *Post-processor*, merupakan tahap dimana hasil perhitunga diinterpretasikan kedalam gambar, grafik, bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu.

Pada proses pemodelan kapal katamaran, analisa CFD akan dilakukan dengan bantuan *modeller*. *Modeller* CFD digunakan pada tahap pembuatan geometri lambung tahap *meshing* baik pada model maupun pada fluida.. Analisa CFD yang akan dilakukan pada pemodelan lambung katamaran ini adalah pemodelan aliran dan perhitungan besarnya *sideforce* pada lambung tersebut serta visualisasi aliran fluida.

**D. Maneuvering**

Kemampuan manuver sebuah kapal dapat didefinisikan sebagai kemampuan kapal untuk mempertahankan atau mengubah posisi dari gerakan kapal di bawah kontrol. Seiring perkembangan zaman kini kemampuan manuver sebuah kapal dapat diprediksi dengan program/*software*. Dalam manuver kapal ada beberapa hal yang harus diperhatikan [5], yaitu :

1. *Inherent dynamic stability*, atau yang juga di sebut dengan *straight line stability*. Suatu kapal terkadang dapat bergerak dinamis ketika berjalan lurus, dengan gangguan-gangguan kecil kapal akan berada pada kondisi *stright course* yang lain, hal itu terjadi secara otomatis dan tidak dapat dikendalikan.
2. *Course keeping ability*, atau yang juga disebut dengan *directional stability*. *Course keeping ability* adalah kemampuan kapal untuk memepertahankan posisi kapal tetap berada pada *original course direction*.
3. *Initial turning/course changing ability*, adalah kemampuan kapal untuk mengubah gerakannya sebagai akibat dari kendali yang diberikan pada kapal.
4. *Yaw checking ability*, adalah kemampuan mengendalikan kapal akibat gerakan dari *rudder* yang dapat mengakibatkan kapal berbelok.
5. *Turning ability*, adalah kemampuan kapal berbelok karena pengeruh yang diberikan *rudder* yang berbelok.
6. *Stopping ability* adalah kemampuan menghentikan kapal dengan menghentikan (*inertia stop*) atau *engine full astern (crash stop)* mesin ketika kapal bergerak stabil dengan kecepatan penuh.

Dalam persamaan dasar dari gerakan manuver kapal persamaan berikut sehubungan dengan sumbu disepakati pada sebuah kapal, dijelaskan dengan persamaan Euler [6].

$$\left. \begin{aligned} \dot{m}\dot{u} - m\dot{v}r &= X(u, v, r, \delta, \dot{u}, \dot{r}, \dot{v}) \\ \dot{m}\dot{v} + m\dot{u}r &= Y(u, v, r, \delta, \dot{u}, \dot{r}, \dot{v}) \\ I\dot{r} &= N(u, v, r, \delta, \dot{u}, \dot{r}, \dot{v}) \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

Dimana,  
 m : massa kapal

- I : Momen inersia memperhatikan sumbu vertikal di pusat gravitasi kapal
- X, Y : Gaya-gaya hidrodinamika secara memanjang dan melintang yang bekerja pada kapal
- N : gaya atau momen hidrodinamika yang bekerja pada kapal
- r : kecepatan angular dari belokan, yang memiliki hubungan,  $r = \Psi$

Dalam hubungan antara bagaimana pengaruh *sideforce* terhadap *maneuvering*. *Total sideforce* dalam hal *maneuvering* kapal [7], terdiri dari:

- a. Kontribusi dari kemudi,
- b. *Sideforce* karena baling-baling di aliran menyamping,
- c. Lambung yang didapatkan karena kombinasi kemudi baling-baling.

### III. III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Metode

Dalam penyelesaian penelitian ini digunakan metode analisa, simulasi, dan perhitungan secara sistematis. Prosedur pengerjaan disusun dengan urutan sebagai berikut:

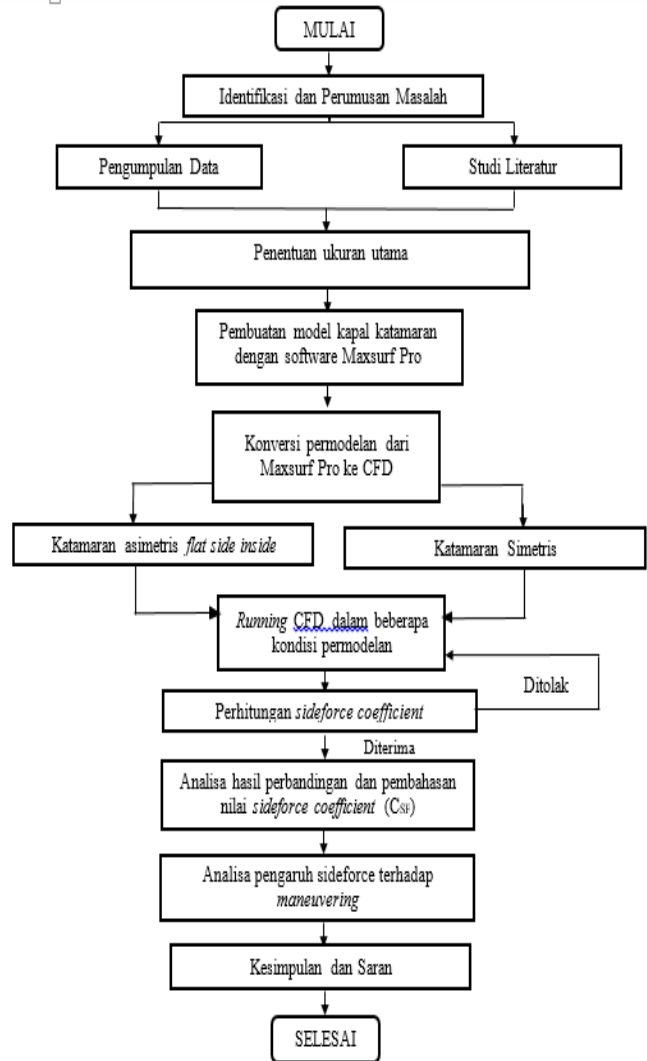
Prosedur pengerjaan disusun dengan urutan sebagai berikut

1. Studi Literatur  
Studi literatur yang dilakukan adalah yang berkaitan dengan pemahaman teori dan konsep dari perhitungan mengenai besarnya nilai *sideforce* yang dihasilkan dari adanya perbedaan konfigurasi lambung dari kapal katamaran. Kemudian dilanjutkan untuk menganalisa mengenai pengaruh yang dihasilkan dari besarnya *sideforce* dari kapal katamaran terhadap *maneuvering*.
2. Pengumpulan Data  
Data ukuran kapal diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [4].
3. Pemodelan, Simulasi CFD  
Dalam pengerjaannya penelitian ini menggunakan *software*, antara lain:
  - a. Menggunakan *software* pemodelan kapal dalam proses desain model kapal katamaran simetris dan asimetris (*flat side inside*).
  - b. Menggunakan *modeller* CFD dalam proses *meshing* dan penentuan *boundary layer* atau kondisi batas yang akan digunakan dalam proses *running*.
  - c. Menggunakan CFD dalam proses *running* dan menentukan nilai *sideforce* dari kapal katamaran simetris dan katamaran asimetris (*flat side inside*).
4. Validasi  
Hasil simulasi dikatakan valid apabila selisih antara *grid independence* kurang dari 2%.
5. Analisa Data dan Penyelesaian  
Analisis data hasil dari simulasi model numerik dan perhitungan secara teori. Pada simulasi numerik adalah nilai besarnya *sideforce*, selanjutnya nilai *sideforce* dilakukan analisa pengaruh *sideforce* terhadap *maneuvering* (Gambar 1).

#### B. Proses Pengerjaan

Langkah awal dalam penelitian ini adalah menentukan ukuran utama kapal dan displacemen kapal. Dengan adanya

perbedaan konfigurasi lambung katamaran maka membuat dua model kapal katamaran dengan *software* pemodelan kapal. Model yang dibuat adalah katamaran *flat side inside* dan katamaran simetris. Selanjutnya dari *software* pemodelan kapal, model di *import* pada *modeller* CFD, dimaksudkan agar model yang telah dibuat dapat dikenali oleh CFD.



Gambar 1. Bagan alir penelitian.

Kemudian pemasukan kondisi batas berdasarkan data eksperimen. Dalam simulasi CFD terdapat 3 tahapan yaitu *Pre-Processor*, *Solver* atau *processor*, dan *Post-Processor* [8]. Hasil dari *running* program CFD adalah berupa besar *sideforce*. Nilai *sideforce* yang diperoleh dalam simulasi dilakukan perhitungan yang diharapkan akan memperoleh nilai dari *sideforce coefficient* kapal pada setiap sudut kemiringan yang sudah ditentukan.

### IV. PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI CFD

#### A. Pembuatan Model Uji Numerik

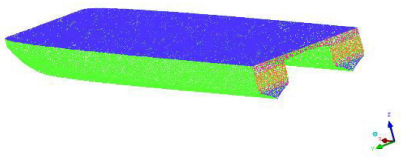
Perancangan dimensi kapal mengacu pada penelitian yang sudah dilakukan [4] yang meneliti mengenai *sideforce coefficient* pada kapal katamaran simetris. Dari penelitian

yang sudah dilakukan tersebut maka diperoleh data rasio dimensi sebagai berikut:

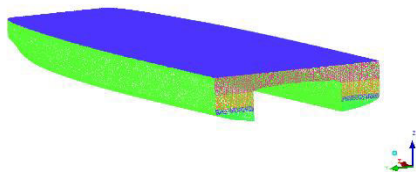
Tabel 1.  
Tabel Rasio Dimensi

L/B	11.0
B/T	2.0
L	1.6 m

Pembuatan model dibagi menjadi dua subyek besar, yaitu kapal katamaran Simetris dan kapal katamaran Asimetris *Flat side inside*. Dari dua subyek besar tersebut akan divariasikan dengan adanya perbedaan S/L pada kapal katamaran Simetris dan kapal katamaran Asimetris *Flat side inside*. Variasi S/L yang dilakukan adalah 0.2, 0.3, dan 0.4.

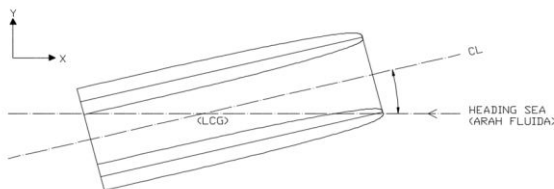


Gambar 2. Model kapal katamaran Simetris,



Gambar 3. Model kapal katamaran Asimetris *flat side inside*

Pada Gambar 4 ditunjukkan adanya sudut yang dibentuk dari *heading sea* (arah fluida) dengan *centerline* kapal sehingga membentuk sudut  $\alpha$ . Dimana sudut kemiringan ( $\alpha$ ) yang diatur adalah  $2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$  terhadap sumbu Z dan arah fluida pada simulasi berlawanan dengan arah gerakan kapal, dimana arah fluida adalah ke arah sumbu x negatif.



Gambar 4. Sudut Kemiringan Kapal Pada Simulasi CFD

**B. Simulasi CFD**

Pada simulasi CFD terdiri dari tiga tahap yaitu : *Pre-processor*, *Processor*, dan *Post-processor*. Pada tahap *pre-processor* perlu melakukan mendefinisikan domain dan *boundary* dari *part-part* yang telah dibuat di *modeller* CFD.

Namun pada simulasi *free surface*, model uji berada pada 2 fluida, yaitu fluida air dan udara. Sehingga perlu dilakukan pengaturan untuk dapat membagi domain menjadi 2 fluida. Kemudian tahap *solver*, tahap *solver* adalah tahap dimana proses *running* dimulai setelah proses pendefinisian domain

dan *boundary* pada semua bagian yang telah dibuat pada *modeller* CFD serta *solver control* pada CFD telah dilakukan pengaturan. Pada proses *running* ini menampilkan grafik dimana sumbu x adalah *acumulated time step* (banyaknya jumlah (iterasi) dan sumbu y menunjukkan *variable value* (nilai konvergensi) dengan nilai 1 sampai sesuai dengan *solver control* pada tahap *pre-processor*. Konvergensi merupakan pengaturan persamaan *solver control* yang bertujuan meminimalisir *error* pada hasil simulasi. Proses *iterasi* akan berhenti sampai dengan *variable value*. Yang terakhir adalah tahap *post-processor* pada tahap ini mendapatkan hasil-hasil dari proses iterasi yang telah dilakukan.

**V. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Simulasi Free Surface**

**1. Kapal Katamaran Simetris**

Pada simulasi *free surface* diperoleh perbandingan nilai  $C_{SF}$  untuk variasi sudut kemiringan pada kapal katamaran simetris. Untuk jarak antar lambung secara melintang atau yang disebut S/L ( $S/L = 0.2, S/L = 0.3$  dan  $S/L = 0.4$ ) serta sudut kemiringan ( $2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$ ). Selain diperoleh nilai dari *sideforce coefficient* ( $C_{SF}$ ) juga di peroleh nilai  $C_T$ . Dimana nilai  $C_{SF}$  diperoleh berdasarkan besarnya nilai *force* pada sumbu y, atau sumbu yang sejajar dengan arah melintang kapal. Sedangkan nilai  $C_T$  diperoleh berdasarkan nilai besarnya *force* berdasarkan sumbu x, atau sumbu yang sejajar dengan arah memanjang kapal.

Pada Tabel 2 dan Tabel 3 ditunjukkan bahwa nilai  $C_{SF}$  dan Nilai  $C_T$  pada kapal katamaran simetris semakin bertambah berbanding lurus dengan semakin bertambahnya sudut kemiringan dari kapal. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada sudut kemiringan di atas  $8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$  nilai  $F(x)$  atau *force* pada sumbu x lebih kecil dibandingkan nilai  $F(y)$  atau *force* pada sumbu y. Hal tersebut terjadi pada variasi  $S/L = 0.2, S/L = 0.3$ , dan  $S/L = 0.4$ .

Tabel 2.  
Nilai  $C_{SF}$  pada simulasi *free surface* kapal katamaran simetris

SUDUT KEMIRINGAN	S/L = 0.2		S/L = 0.3		S/L = 0.4	
	SIDEFORCE (N)	$C_{SF}$ ( $\times 10^{-2}$ )	SIDEFORCE (N)	$C_{SF}$ ( $\times 10^{-2}$ )	SIDEFORCE (N)	$C_{SF}$ ( $\times 10^{-2}$ )
2	525.400	0.792	486.135	0.694	378.905	0.541
4	960.240	1.447	811.505	1.159	744.001	1.062
6	1341.150	2.021	1182.820	1.689	1045.020	1.492
8	1844.160	2.779	1654.490	2.362	1552.105	2.216
10	2651.770	3.995	2285.760	3.264	2088.390	2.982
12	3005.341	4.528	2798.300	3.996	2509.600	3.584
14	3488.240	5.256	3245.889	4.635	3045.580	4.349

Tabel 3.  
Nilai  $C_T$  pada simulasi *free surface* pada kapal katamaran simetris

SUDUT KEMIRINGAN	S/L = 0.2		S/L = 0.3		S/L = 0.4	
	DRAGFORCE (N)	$C_T$ ( $\times 10^{-2}$ )	DRAGFORCE (N)	$C_T$ ( $\times 10^{-2}$ )	DRAGFORCE (N)	$C_T$ ( $\times 10^{-2}$ )
2	1506.970	2.2706	1112.507	1.5886	1094.366	1.5627
4	1686.570	2.5412	1155.260	1.6496	1133.070	1.6179
6	1739.110	2.6204	1252.980	1.7892	1190.680	1.7002
8	1789.020	2.6956	1453.840	2.0760	1255.330	1.7925
10	1864.400	2.8091	1619.790	2.3129	1351.130	1.9293
12	1956.350	2.9477	1791.080	2.5575	1565.310	2.2351
14	2068.980	3.1174	2002.410	2.8593	1917.640	2.7383

2. Kapal Katamaran Asimetris (*Flat side inside*).

Dengan adanya variasi konfigurasi lambung pada kapal katamaran, maka simulasi *free surface* dilakukan juga pada kapal katamaran dengan variasi konfigurasi lambung asimetris *flat side inside*. Untuk jarak antar lambung secara melintang atau yang disebut S/L ( $S/L = 0.2$ ,  $S/L = 0.3$  dan  $S/L = 0.4$ ) serta sudut kemiringan ( $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $14^\circ$ ). Selain diperoleh nilai dari *sideforce coefficient* ( $C_{SF}$ ) juga di peroleh nilai  $C_T$ .

Pada Tabel 4 dan Tabel 5 ditunjukkan bahwa nilai  $C_{SF}$  dan Nilai  $C_T$  pada kapal katamaran asimetris *flat side inside* semakin bertambah berbanding lurus dengan semakin bertambahnya sudut kemiringan dari kapal. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada sudut kemiringan di atas  $8^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $14^\circ$  nilai  $F(x)$  atau *force* pada sumbu x lebih kecil dibandingkan nilai  $F(y)$  atau *force* pada sumbu y. Hal tersebut terjadi pada variasi  $S/L = 0.2$ ,  $S/L = 0.3$ , dan  $S/L = 0.4$ .

Tabel 4.

Nilai  $C_{SF}$  pada simulasi *free surface* kapal katamaran asimetris *flat side inside*

SUDUT KEMIRINGAN	S/L = 0.2		S/L = 0.3		S/L = 0.4	
	SIDEFORCE (N)	$C_{SF}$ ( $\times 10^{-2}$ )	SIDEFORCE (N)	$C_{SF}$ ( $\times 10^{-2}$ )	SIDEFORCE (N)	$C_{SF}$ ( $\times 10^{-2}$ )
2	503.616	0.759	486.889	0.695	470.160	0.671
4	1042.050	1.570	844.884	1.206	717.637	1.025
6	1585.653	2.389	1412.620	2.017	1261.250	1.801
8	2043.151	3.078	1956.390	2.794	1749.043	2.498
10	2396.212	3.610	2264.976	3.234	2143.571	3.061
12	2776.190	4.183	2721.325	3.886	2573.500	3.675
14	3495.102	5.266	3256.709	4.650	3085.199	4.405

Tabel 5.

Nilai  $C_T$  pada simulasi *free surface* pada kapal katamaran asimetris *flat side inside*

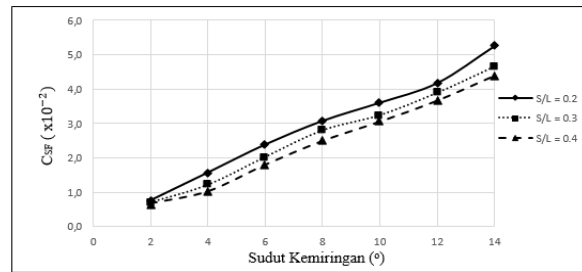
SUDUT KEMIRINGAN	S/L = 0.2		S/L = 0.3		S/L = 0.4	
	DRAGFORCE (N)	$C_T$ ( $\times 10^{-2}$ )	DRAGFORCE (N)	$C_T$ ( $\times 10^{-2}$ )	DRAGFORCE (N)	$C_T$ ( $\times 10^{-2}$ )
2	1711.870	2.579	1637.854	2.339	1422.100	2.031
4	1794.753	2.704	1700.334	2.428	1481.730	2.116
6	1828.926	2.756	1774.063	2.533	1588.719	2.269
8	1903.100	2.867	1875.800	2.679	1704.400	2.434
10	2172.420	3.273	2085.900	2.979	1982.660	2.831
12	2300.790	3.467	2265.819	3.235	2114.600	3.019
14	2620.440	3.948	2408.700	3.439	2129.762	3.041

3. Perbandingan simulasi *free surface* katamaran asimetris *flat side inside* dan katamaran simetris

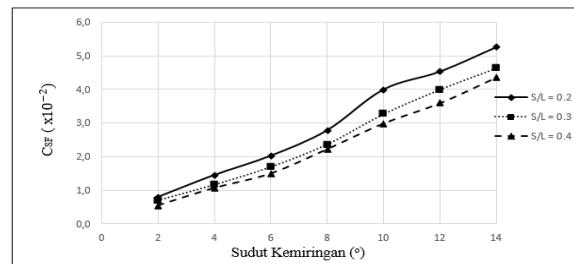
Simulasi *free surface* yang sudah dilakukan pada kedua konfigurasi lambung, yaitu katamaran asimetris *flat side inside*

dan katamaran simetris, maka diperoleh data perbandingan nilai *sideforce coefficient* dari kedua perbedaan konfigurasi lambung berdasarkan konfigurasi lambung yang berbeda, namun dengan variasi S/L yang sama dan sudut kemiringan kapal yang sama.

Pada Gambar 5 dan Gambar 6 ditunjukkan bahwa dengan nilai S/L yang semakin besar maka nilai  $C_{SF}$  semakin berkurang, yang berarti pada kapal katamaran dengan nilai  $S/L = 0.4$  memiliki nilai  $C_{SF}$  yang paling kecil dibandingkan dengan kapal katamaran dengan  $S/L = 0.2$  dan  $S/L = 0.3$ . Dimana, jarak antara lambung secara melintang (S/L) berpengaruh terhadap nilai *force*. *Force* akan semakin bertambah apabila terjadi penurunan nilai jarak antara lambung secara melintang (S/L) [9]. Disamping itu dengan adanya pengaruh kemiringan sudut, pada kapal katamaran simetris maupun kapal katamaran asimetris *flat side inside* nilai  $C_{SF}$  semakin bertambah seiring dengan bertambahnya sudut kemiringan. Pada konfigurasi lambung katamaran simetris dan katamaran asimetris *flatside inside*, kapal katamaran asimetris *flat side inside* memiliki nilai  $C_{SF}$  yang lebih besar dibandingkan kapal katamaran simetris.



Gambar 5. Perbandingan  $C_{SF}$  kapal katamaran simetris



Gambar 6. Perbandingan  $C_{SF}$  kapal katamaran asimetris *flat side inside*.

B. Hubungan Sideforce dan Maneuvering

Adanya hubungan antara gaya atau momen hidrodinamika yang bekerja pada kapal dengan kecepatan angular dari belokan kapal saat melakukan manuver ditunjukkan pada persamaan (3), dimana kecepatan angular dari belokan kapal saat melakukan manuver dikalikan dengan momen inersia berdasarkan sumbu vertikal di pusat gravitasi kapal, sehingga dari perkalian tersebut ditunjukkan hubungan antara kecepatan angular dari belokan kapal saat melakukan manuver berbanding lurus dengan gaya atau momen hidrodinamika yang bekerja pada kapal. Gaya yang dimaksud adalah gaya yang terdiri dari gaya atau momen yang bekerja pada lambung, baling-baling dan kemudi, yang dipengaruhi oleh kondisi aliran serta kondisi kerja seperti baling-baling dan perubahan pada sudut kemiringan kemudi [6]. Gaya yang bekerja pada lambung ini salah satunya adalah *sideforce*.

Nilai *sideforce* pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 4, nilai *sideforce* semakin besar berbanding lurus dengan semakin besarnya sudut kemiringan. Sehingga dalam hubungan *sideforce* dalam hal *maneuvering* kapal semakin besar sudut kemiringan kapal maka semakin besar nilai *sideforce* dan semakin besar kecepatan angular dari belokan kapal saat melakukan manuver.

## VI. KESIMPULAN

Setelah didapatkan hasil penelitian, maka kesimpulan yang diperoleh sebagai berikut:

1. Berdasarkan data yang didapatkan pada kapal katamaran simetris nilai *sideforce* dan  $C_{SF}$  terbesar pada  $S/L = 0.2$  dengan sudut kemiringan  $14^\circ$ , yaitu *sideforce* = 3488.240 N dan  $C_{SF} = 5.256 \times 10^{-2}$ . Sedangkan nilai *sideforce* dan  $C_{SF}$  terkecil pada  $S/L = 0.4$  dengan sudut kemiringan  $2^\circ$ , yaitu sebesar *sideforce* = 378.905 N dan  $C_{SF} = 0.541 \times 10^{-2}$ . Pada kapal katamaran asimetris *flat side inside* nilai *sideforce* dan  $C_{SF}$  terbesar pada  $S/L = 0.2$  dengan sudut kemiringan  $14^\circ$ , yaitu *sideforce* = 3495.102 N dan  $C_{SF} = 5.266 \times 10^{-2}$ . Sedangkan nilai *sideforce* dan  $C_{SF}$  terkecil pada  $S/L = 0.4$  dengan sudut kemiringan  $2^\circ$ , yaitu sebesar *sideforce* = 470.160 N dan  $C_{SF} = 0.671 \times 10^{-2}$ .
2. Perbedaan konfigurasi lambung pada kapal katamaran memiliki *sideforce* dan nilai  $C_{SF}$  yang berbeda sesuai dengan konfigurasi lambung, yaitu kapal katamaran simetris dan kapal katamaran asimetris *flat side inside*. Kapal katamaran asimetris memiliki nilai *sideforce* yang lebih besar dibandingkan dengan kapal katamaran simetris.
3. Pada kapal katamaran simetris dan asimetris *flat side inside* pada sudut kemiringan  $2^\circ, 4^\circ, 6^\circ$  nilai  $C_{SF}$  lebih kecil daripada nilai  $C_T$ . Namun pada sudut kemiringan

$8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$   $C_{SF}$  memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai  $C_T$ .

4. Gaya yang bekerja pada badan kapal dapat memberikan pengaruh terhadap *maneuvering* kapal, salah satunya adalah gaya yang berasal dari bagian sisi kapal di sumbu Y (sumbu yang tegak lurus dengan arah laju kapal). Sehingga dalam hubungan *sideforce* dalam hal *maneuvering* kapal semakin besar sudut kemiringan kapal maka semakin besar nilai *sideforce* dan semakin besar kecepatan angular dari belokan kapal saat melakukan manuver.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Insel and A. F. Molland, "An Investigation into The Resistance Component of High Speed Displacement Catamarans," United Kingdom, 1990.
- [2] H. K. Versteeg and W. Malalasekera, "An introduction to computational Fluid Dynamics," England, 2007.
- [3] W. S. Hunter and P. N. Joubert, "Sideforces on a ship's hull," USA, 1988.
- [4] P. Couser, "Experimental Measurement Of Sideforces And Induced Drag On Catamaran Demihull," *Int. Shipbuild. Prog.*, vol. 45, no. 433, pp. 225–235, 1998.
- [5] V. Bertram, *Practical Ship Hydrodynamics*. United Kingdom: Butterworth – Heinemann Ltd, 2002.
- [6] T. Fuwa and K. Tatsuo, "Theory, Analysis, And Design Methodology For Ship Manoeuvrability," Japan, 1973.
- [7] A. Molland and S. Turnock, *Marine Rudder and Control Surfaces*. United Kingdom: Butterworth – Heinemann Ltd, 2007.
- [8] I. K. A. P. Utama, "Investigation of the Viscous Resistance Component of Catamaran Forms," University of Southampton, 1999.
- [9] R. M. Hutauruk and Latumeirissa, "Kajian Interferensi Aliran pada Model Trimaran untuk Mengungkapkan Hambatan Viskos dengan Menggunakan Uji Terowongan Angin," *J. Teknol.*, vol. 10, no. 1, 2013.