

PENGARUH PENAMBAHAN VARIASI GEOMETRI *STERN FLAP* TERHADAP NILAI HAMBATAN PADA KAPAL PATROLI PERIKANAN

Rosiana Dewi¹, Untung Budiarto², Ari Wibawa Budi Santosa³, Eko Sasmito Hadi⁴, Parlindungan Manik⁵, Ocid Mursid⁶

Departemen Teknik Perkapalan

Universitas Diponegoro

rsndewi1999@gmail.com¹, untungb@undip.ac.id², arikapal75@gmail.com³, ekosasmitohadi@gmail.com⁴, parlin1974@yahoo.com⁵, ocidmursid@gmail.com⁶

ABSTRAK

Optimalisasi performa hidrodinamika kapal dengan mereduksi hambatan kapal patroli *planing hull* berkecepatan tinggi merupakan salah satu upaya pencegahan peningkatan khusus *illegal fishing*, dan instalasi *stern flap* merupakan upaya sederhana dalam mereduksi nilai hambatan. Menurut sejarah penelitian terdahulu, dibutuhkan studi lebih lanjut dalam mengeksplorasi ragam geometri *stern flap*. Pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh variasi geometri *stern flap* untuk mengetahui nilai hambatan dari kapal patroli perikanan dengan pendekatan numerikal CFD. Komputasi diselesaikan dengan persamaan *Reynolds-Averaged Navier Stokes* (RANS) serta teknik solusi *Finite Volume Method* (FVM) pada perairan tenang menggunakan model turbulensi $k-\epsilon$ dan model fisika fluida *eulerian multiphase* yaitu *Volume of Fluid* (VOF) yang terdiri dari fasa air dan fasa udara untuk merepresentasikan *free surface*. *Meshing* geometri menggunakan metode *overset mesh* dengan konsep *donor-acceptor cells*. Penelitian dilakukan pada 5 kondisi *Froude number* dan 9 buah model *stern flap*. Diperoleh pengurangan nilai hambatan total tertinggi yaitu -26,07% pada *Fr* 1,00, sedangkan penambahan nilai hambatan tertinggi yaitu 31,71% pada *Fr* 1,33. Terdapat 2 variasi bentuk *stern flap* yang mampu mereduksi nilai hambatan pada seluruh nilai *Froude number*.

Kata kunci : *Planing hull, Stern flap, CFD, Hambatan, Trim, Heave*

ABSTRACT

*Optimizing ship hydrodynamics performance through resistance reduction of a high-speed planing hull patrol boat is known as one of the ways to prevent the increase of illegal fishing cases, and stern flap installation was found to be a simple way to reduce resistance. Reflecting on some previous researches, further work on investigating a practical stern flap geometry is needed. Hereby conducted an influence analyze of stern flap geometry variations on resistance performance of a fishing patrol boat with CFD numerical approaches. Reynolds-Averaged Navier Stokes equation was applied to solve the computation with Finite Volume Method technique on calm water using k-3 model turbulence and the Volume of Fluid eulerian multiphase physics model that could track the interface between water and air phases to capture the free surface area. Overset mesh method was chosen to generate mesh geometry by donor-acceptor cells concept. This study carried out on five Froude number conditions and nine model of stern flaps. Results obtained that the highest resistance reduction happens about -26,07% on *Fr* 1,00, while the highest resistance increase was about 31,71% on *Fr* 1,33. Two stern flap geometry variations successfully reduce the ship's total resistance at all Froude number conditions*

Keywords : *Planing hull, Stern flap, CFD, Total Resistance, Trim, Heave*

1. Pendahuluan

Berdasarkan pendapat Muhamad (2012), salah satu penyebab meningkatnya jumlah khusus *illegal fishing* di perairan Indonesia yaitu besarnya dana operasional bahan bakar kapal patroli sehingga kegiatan pengawasan menjadi terbatas (Muhamad, 2012). Penekanan konsumsi bahan bakar kapal erat kaitannya dengan efisiensi daya dorong mesin kapal, hal tersebut dapat dicapai dari mereduksi nilai hambatan total dengan memperbaiki performa hidrodinamika kapal. Kapal patroli umumnya berupa kapal cepat berbentuk *planing hull* (Maulana, 2018) dimana kapal pada fase *planing* hampir seluruh beratnya disangga oleh *lift force* sehingga WSA mengecil serta terjadi perubahan *trim* (Fretes, 2018).

Upaya sederhana yang dinilai mampu memperbaiki performa hidrodinamika kapal patroli yaitu dengan instalasi *appendages* seperti *stern flap* (Song *et al.*, 2019). Kombinasi antara *stern flap* dengan *transom* buritan dapat memperbaiki bidang aliran *wake* dengan berkurangnya ketinggian dan lembah gelombang (Klara *et al.*, 2020), gaya *drag* dan hambatan gelombang dapat berkurang, hingga meminimalisir hilangnya daya (Sun *et al.*, 2020). Geometri *stern flap* yaitu berupa perpanjangan pelat pada *transom* kapal yang diatur dengan sudut tertentu terhadap garis air (Yaakob, Shamsuddin and Koh, 2012).

Berdasarkan sejarah perkembangan instalasi *stern flap*, dalam penelitian Song *et al* tahun 2018 didapat bahwa pada tahun 1999 oleh Cusanelli & Hundley telah dilakukan uji eksperimental *full scale* penambahan *stern flap* pada kapal FFG-7 Class yang mampu mengurangi daya hingga 11,7%. Disebutkan pula bahwa berkurangnya hambatan total kapal erat hubungannya dengan distribusi *wave-making resistance* yang membaik (Song *et al.*, 2018). Meninjau pengaruh ragam variasi bentuk geometri dari *stern flap*, telah dilakukan uji CFD pada kapal *planing hull* dengan panjang flap 1% Loa dan sudut kemiringan flap 0° hambatan kapal dapat berkurang rata-rata 4,5 %, (Yaakob, Shamsuddin and Koh, 2012). Penelitian CFD kapal *planing hull* lainnya yaitu oleh Maulana tahun 2018 dengan panjang flap 1~2,5 % Lpp, span selebar *transom* kapal, dan sudut flap 0° dinilai efektif mengurangi hambatan hingga 2,87% (Maulana, 2018). Selanjutnya, telah terdapat pula pengujian *towing tank* dan CFD dari pemasangan *stern flap* oleh Maki *et al* tahun 2016, bahwa *stern flap* efektif mengurangi nilai hambatan total jika panjang flap 1~2 % Lwl, span dibuat selebar mungkin, dan variasi sudut flap mampu menghasilkan perbedaan performa yang signifikan (Maki *et al.*, 2016).

Pada penelitian ini ditetapkan penggunaan metode komputasi numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) berdasarkan persamaan *Reynolds-Averaged Navier Stokes* (RANS) dengan teknik solusi numerik *Finite Volume Method* (FVM) untuk mengetahui nilai hambatan total serta nilai 2-DOF (*Degree of Freedom*) kapal yaitu *heave* (gerak translasional pada sumbu Z) dan *pitch/trim* (gerak rotasional pada sumbu Y) di perairan tenang dengan permodelan turbulensi k-ε, model fisika fluida *eulerian multiphase* yang terdiri dari fasa air serta udara dan dengan pendekatan *Volume of Fluid* (VOF) untuk merepresentasikan kondisi *free surface* (Sun *et al.*, 2020). *Meshing* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode *overset grid* dimana objek geometri didiskritisasi menggunakan prinsip *donor-acceptor cells* yang terdiri dari geometri *overset* sebagai akseptor dan *background* sebagai pendonor (Fathuddiin *et al.*, 2020).

Dari peninjauan bentuk variasi *stern flap* pada penelitian Maki *et al* tahun 2016 (Maki *et al.*, 2016) serta penarikan kesimpulan dari penelitian terdahulu, adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis pengaruh dari penambahan 9 buah variasi bentuk *stern flap* pada kapal partroli jenis *planing hull* terhadap perubahan nilai hambatan total, *heave*, dan *pitch/trim*.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Objek Penelitian

Objek penelitian yang digunakan pada penelitian ini merupakan kapal patroli 14 m dengan detail ukuran utama kapal pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

Parameter	Unit	Nilai
Loa	m	14,10

Lwl	m	12,00
B	m	3,20
H	m	1,90
T	m	0,75
Cb		0,55
Vdinas	knot	25
Vmax	knot	28

Sumber: (Widyatmoko *et al.*, 2021)

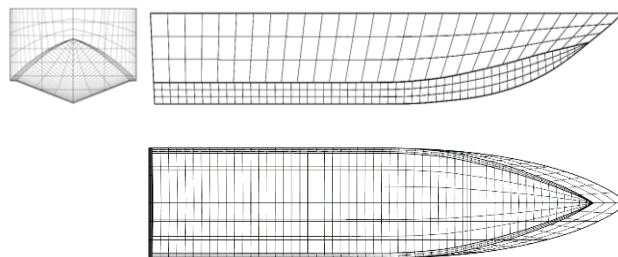
2.2. Parameter Penelitian

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini terfokus pada 9 variasi bentuk *stern flap* untuk memperoleh informasi variasi *stern flap* yang paling efektif terhadap perubahan nilai hambatan total kapal patroli *planing hull* 14 m.

1. Parameter Tetap
 - a. Kapal patroli 14 m berbentuk *planing hull*
 - b. Lebar span *stern flap* yaitu 100% B_T (Lebar *Transom*)
 - c. Letak *stern flap* pada bagian bawah *transom*
 - d. Geometri penyusun flap mengikuti karakteristik *foil* NACA N-24 dipotong pada 30% chord
 - e. Kapal melaju pada perairan tenang.
2. Parameter Peubah
 - a. Panjang flap terdiri dari 1,0% Lwl, 1,5% Lwl, dan 2,0% Lwl
 - b. Sudut kemiringan flap terdiri dari 0°, dan 10°
 - c. Kapal melaju pada Fr 0,33, 0,66, 1,00, 1,19 (kecepatan dinas), dan 1,33.

2.3. Pemodelan Kapal Patroli

Kapal yang digunakan pada penelitian didasari oleh data ukuran utama kapal dari objek penelitian. Data kapal digunakan untuk membentuk linesplan kapal menggunakan *software* Microsoft Excel yang kemudian dimodelkan menjadi 3D dengan bantuan *software* pemodelan berbasis komputer sehingga model kapal terbentuk seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan 3D Kapal Patroli
(Sumber: Hasil pemodelan 3D)

2.4. Variasi Bentuk Stern flap

Meninjau pada penelitian dari Maki et al dimana *stern flap* bukan hanya sebuah perpanjangan plat datar pada bagian bawah *transom* kapal, namun terdiri dua bagian yaitu *bottom area* dan *upper area* (Maki *et al.*, 2016). Maka pada penelitian ini ditetapkan 9 buah variasi bentuk *stern flap* dengan detail ukuran pada Tabel 2 serta visualisasi model variasi pada Gambar 2 yang kemudian dianalisis dengan bantuan *software* CFD.

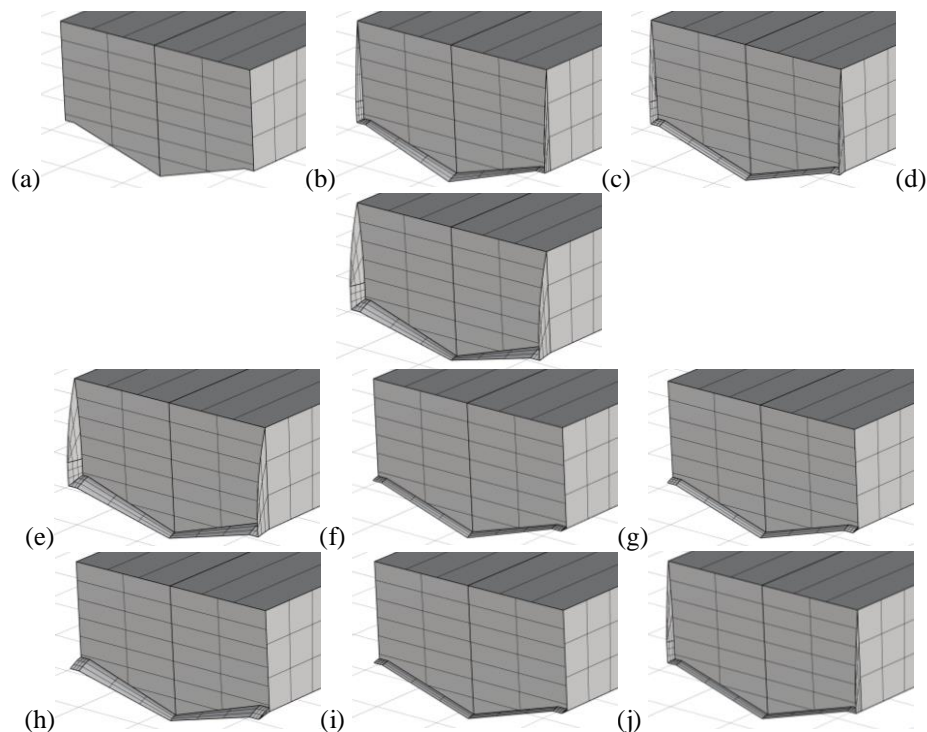
Tabel 2. Variasi bentuk Stern Flap

Variasi	Bottom area		Upper area
	Center	Side	

<i>Bare hull</i>	-	-	-
Flap 1	1,5 % (10°)	1 % (0°)	1 % (0°)
Flap 2	1 % (10°)	1 % (10°)	1 % (0°)
Flap 3	1 % (0°)	2 % (10°)	2 % (0°)
Flap 4	1 % (10°)	2 % (10°)	2 % (0°)
Flap 5	1 % (10°)	1 % (0°)	-
Flap 6	1 % (10°)	1 % (10°)	-
Flap 7	1 % (10°)	2 % (10°)	-
Flap 8	1 % (0°)	1 % (0°)	-
Flap 9	1 % (0°)	1 % (0°)	1 % (0°)

*Nilai persentase menunjukkan panjang *flap* terhadap Lwl kapal. Besar sudut pada *bottom area* mewakili nilai sudut terhadap *keel* pada buritan.

Sumber : Maki *et al.*, (2016)



Gambar 2. (a) *Bare hull* (b) Flap 1 (c) Flap 2 (d) Flap 3 (e) Flap 4 (f) Flap 5 (g) Flap 6 (h) Flap 7 (i) Flap 8 (j) Flap 9
(Sumber: Hasil Pemodelan 3D)

2.5. Metode Komputasi Numerik

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Komputer & Desain Kapal, Departemen Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro. Disamping pengujian eksperimen menggunakan *towing tank* yang cenderung membutuhkan biaya pengujian cukup besar, dalam perkembangan teknologi dunia maritim telah berkembang dengan pesat cara alternatif untuk memprediksi nilai hambatan kapal menggunakan pendekatan metode komputasi atau CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yang diselesaikan dengan persamaan RANS (*Reynolds Averaged Navier Stokes*).

RANS dinilai banyak digunakan dalam mensimulasikan karakteristik hidrodinamika kapal. Persamaan RANS digunakan untuk menganalisis performa hambatan setelah dilakukan pemasangan *stern flap*. Persamaan RANS untuk gerak fluida *newtonian-incompressible* yaitu (Song *et al.*, 2018):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u'_i u'_j} \right) + S_j \tag{2}$$

Dimana u_i dan u_j adalah nilai rata-rata waktu ($i, j = 1, 2, 3$) dari komponen kecepatan; p adalah nilai rata-rata waktu dari tekanan; ρ massa jenis fluida; μ koefisien kecepatan dinamis; $\overline{\rho u'_i u'_j}$ ialah tegangan Reynolds, dan S_j vektor sumber momentum.

Penyelesaian CFD menggunakan teknik solusi numerik aliran FVM (*Finite Volume Methods*) yaitu mendiskritkan persamaan diferensial parsial menjadi aljabar pada seluruh domain fluida. FVM mampu memastikan terjaganya kekekalan massa dan momentum dengan proses membagi domain komputasi menjadi *finite volume* hingga terbentuk *mesh/ grid*, kemudian PDE dari tiap *grid* diintegrasikan terlebih dahulu sebelum seluruh variabel akhirnya didekatkan dengan nilai *grid* pusat dan menghasilkan persamaan aljabar (Jokosisworo *et al.*, 2020) (Bertram, 2012).

Untuk mendefinisikan pola gelombang pada *free surface* digunakan VOF (*Volume of Fluid Method*) (ITTC, 2011). VOF dikemukakan oleh Hirt dan Nichols pada tahun 1981 dengan asumsi bahwa tiap fasa aliran *multi-phase* berada dalam kontrol volum yang terpisah dalam hal kecepatan, tekanan, dan fungsi lainnya. Persamaan massa jenis,

$$\rho = \sum \rho_i \alpha_i \tag{3}$$

Dan persamaan viskositas kinematik,

$$v = \sum v_i \alpha_i \tag{4}$$

Dimana $\alpha_i = V_i/V$, nilai α_i (volum fraksi) untuk fasa air yaitu 1 dan untuk fasa udara yaitu 0, jika nilai $0 < \alpha_i < 1$ maka merupakan zona fasa campuran (Khazae, Rahmansetayesh and Hajizadeh, 2019).

Data pada Tabel 3 merupakan *domain boundaries* atau berupa penyetapan batas daerah di sekitar kapal yang akan dianalisis berupa jarak dari *inlet, outlet, sides, top, bottom* berdasarkan rekomendasi dari ITTC (ITTC, 2011):

Tabel 3. Ukuran Domain Boundaries

Parameter	Background	Overset
Panjang (m)	3L dari AP	0,25L dari AP
	1L dari FP	0,25L dari FP
Tinggi (m)	2L dari keel	0,75H dari keel
	1L dari deck	0,75H dari deck
Lebar (m)	1,5 L dari symmetry	1B dari symmetry

Sumber: ITTC (2011)

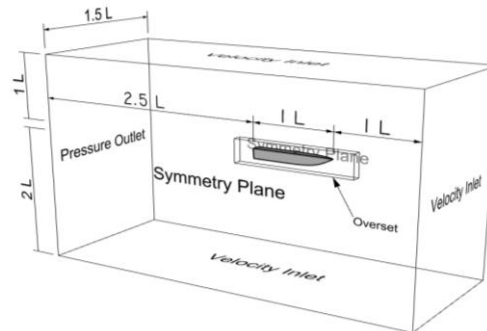
Kondisi batas/ *boundary conditions* pada Tabel 4 terdiri dari; *velocity inlet* guna mendefinisikan kecepatan pada sisi masuk aliran *incompressible, pressure outlet* untuk data tekanan statik, temperatur *backflow*, dan besarnya turbulensi aliran balik, *no-slip wall* sebagai dinding pembatas antara dua fasa fluida berbeda, dan *symmetry plane* untuk pendefinisian model menjadi simetri tanpa adanya gesekan aliran viskos. Dari *domain boundaries* serta *boundary conditions* yang telah ditetapkan, maka gambaran dari ilustrasi virtual *towing tank* penelitian CFD ini dapat dilihat seperti pada Gambar 3.

Tabel 4. Sifat Boundary Conditions

Boundary	Background	Overset
Inlet	Velocity inlet	Overset <i>Mesh</i>
Outlet	Pressure outlet	Overset <i>Mesh</i>
Top	Velocity inlet	Overset <i>Mesh</i>
Bottom	Velocity inlet	Overset <i>Mesh</i>

Symmetry Back Half Model	Symmetry plane Symmetry plane -	Symmetry Plane Overset Mesh No-Slip Wall
--------------------------------	---------------------------------------	--

Sumber : Fathuddiin *et al.*(2020)



Gambar 3. Ilustrasi Virtual Towing Tank
(Sumber: Hasil Pemodelan 3D)

Overset mesh merupakan metode *meshing* dimana dilakukan dengan cara *donor-acceptor cells* (Fathuddiin *et al.*, 2020). Ukuran kerapatan *mesh* dari *background* dan *overset* harus memiliki dimensi yang sama agar data dapat ditransfer secara linear (Sun *et al.*, 2020). konsentrasi *mesh* berdasarkan koordinat x, y, dan z dengan metode *anisotropic mesh*. Kerapatan *mesh* hanya difokuskan pada permukaan badan kapal dengan visualisasi *mesh* pada Gambar 4 serta difokuskan pada fluida air untuk mempersingkat waktu komputasi numerik (Jokosisworo *et al.*, 2020). Dilakukan pula *refinement* pada *mesh* dengan menggunakan beberapa volumetric control agar merapatkan *mesh* secara lokal (Khazaei, Rahmansetayesh and Hajizadeh, 2019).

Tipe *meshing* dipilih *unstructured mesh* yang merupakan *mesh* dengan konektivitas tidak beraturan. Dengan *unstructured mesh*, *meshing* time dapat berkurang pesat dibandingkan *structured mesh* (ITTC, 2011).



Gambar 4. Visualisasi Meshing Bagian Stern Flap
(Sumber: Perangkat Lunak CFD)

Wall function (y^+) merupakan dinding pemisah antara badan kapal dengan aliran fluida (Fathuddiin *et al.*, 2020). Jumlah *grid boundary layer* / y^+ bergantung pada model turbulensi dengan formula (Jokosisworo *et al.*, 2020):

$$\frac{y}{L} = \frac{y^+}{Rn \sqrt{\frac{C_f}{2}}} \tag{5}$$

Dimana y merupakan tebal layer pertama, R_n *Reynold number*, L ialah panjang kapal, C_f merupakan koefisien gesek.

Model turbulensi digunakan untuk menggambarkan efek turbulensi aliran, dimana kali ini menggunakan model turbulensi *k-ε turbulence*. Model ini telah menunjukkan mampu memberikan prediksi yang akurat untuk hidrodinamika kapal (ITTC, 2011).

Time-step dipilih dalam perhitungan aliran *unsteady* bergantung pada angka *Courant-Friedrichs-Lewy* (CFL) yang menandakan jumlah titik tempuh partikel fluida dalam interval waktu pada persamaan berikut, dengan L ialah panjang kapal dan U yaitu kecepatan kapal (Jokosisworo

et al., 2020):

$$\Delta t = 0.005 \sim 0.01 L/U \tag{6}$$

2.6. Alat Penelitian

Alat yang digunakan untuk komputasi numerik penelitian yaitu menggunakan komputer dengan spesifikasi sebagai berikut:

- OS : Windows 10 64-Bit
- Processor : Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ
- RAM : 16 GB
- Grafik : NVIDIA GeForce GTX 1060

Digunakan perangkat lunak pemodelan 3D untuk memodelkan kapal serta perangkat lunak CFD berbasis komputer yang mampu menyelesaikan nilai hambatan kapal serta nilai 2-DOF kapal.

3. Hasil Dan Pembahasan

Dalam hasil dan pembahasan terdapat informasi berupa hasil serta pembahasan penelitian yang terdiri dari validasi hambatan kapal *bare hull*, hambatan viskos kapal, hambatan gelombang kapal, hambatan udara kapal, hambatan total kapal, nilai WSA kapal, nilai *trim* dan gaya angkat kapal, serta nilai *heave* kapal.

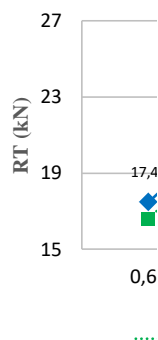
3.1 Validasi Hambatan Kapal Bare hull

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi komputasi numerik nilai hambatan kapal pada penelitian ini dengan hasil pada komputasi *solver* CFD lain. Diperoleh nilai hambatan terhadap *Froude number* seperti pada Tabel 5:

Tabel 5. Validasi Nilai Hambatan

<i>Froude number</i>	Penelitian ini (kN)	CFD lain (kN)	Selisih
0,33	2,63	-	-
0,66	16,59	17,47	5,32%
1,00	23,68	24,00	1,33%
1,19	24,90	24,80	0,40%
1,33	24,02	24,90	3,65%

Sumber : Hasil Simulasi CFD

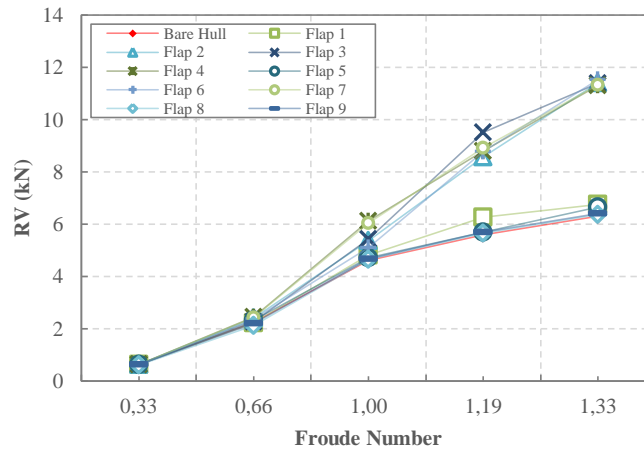


Gambar 4. Grafik validasi nilai hambatan (Sumber: Hasil Simulasi CFD)

Dari hasil simulasi pada Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai hambatan kedua *solver* CFD di atas menghasilkan error yang relatif kecil. Maka hasil simulasi numerik dianggap layak dan dapat digunakan untuk proses analisis pengaruh variasi bentuk *stern flap* pada penelitian.

3.1. Hambatan Viskos Kapal

Berdasarkan hasil simulasi numerik pada Gambar 5 dari kapal dengan variasi *stern flap*, hambatan viskos berperan sebagai penyusun nilai hambatan total sebesar 13,04% hingga 40,56%.

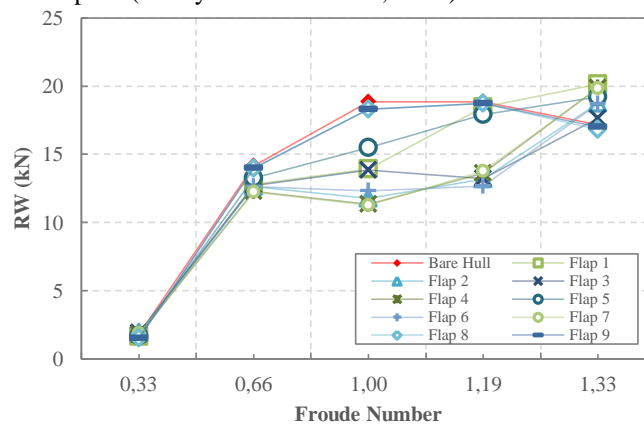


Gambar 5. Hambatan Viskos Variasi *Stern flap*
(Sumber: Hasil Simulasi CFD)

Jika dibandingkan dengan nilai hambatan kapal kondisi *bare hull*, hampir seluruh variasi *stern flap* mengalami peningkatan nilai hambatan viskos. Nilai hambatan viskos mengalami peningkatan yang besar pada nilai Fr 1,00, Fr 1,19, dan Fr 1,33 terutama oleh variasi Flap 2, Flap 3, Flap 4, Flap 6, dan Flap 7. Sedangkan peningkatan nilai hambatan viskos variasi Flap 1, Flap 5, Flap 8, dan Flap 9 relatif rendah.

3.2. Hambatan Gelombang Kapal

Hambatan gelombang merupakan hambatan yang menyebabkan hilangnya energi kapal karena pembentukan gelombang yang tercipta akibat interaksi dari fluida air dengan arah gerak badan kapal yang tercelup air (Nooryadi and Suastika, 2012).



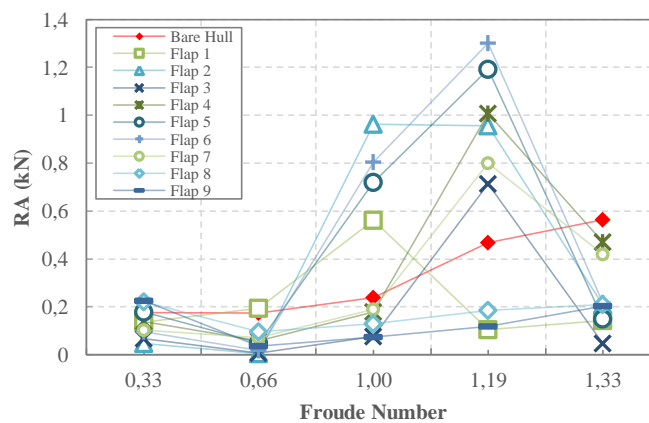
Gambar 6. Hambatan Gelombang Variasi *Stern flap*
(Sumber: Hasil Simulasi CFD)

Dari Gambar 6 diperoleh hambatan gelombang mendominasi sebagai komponen penyusun nilai hambatan total kapal, dengan nilai hambatan gelombang sebesar 55,67% hingga 86,36% dari nilai hambatan total kapal. Pada Fr 0,33 hingga Fr 1,19 nilai hambatan gelombang dari seluruh variasi *stern flap* mengalami penurunan jika dibandingkan dengan kapal kondisi *bare hull*. Didapat pula bahwa terjadi penurunan nilai hambatan gelombang yang cukup besar pada Fr 1,00 dan Fr

1,19. Pada nilai Fr 1,33 kapal mengalami peningkatan nilai hambatan gelombang oleh Flap 1 hingga Flap 7, sementara variasi Flap 8 & Flap 9 mengalami penurunan nilai hambatan gelombang.

3.3. Hambatan Udara Kapal

Hambatan udara merupakan salah satu komponen penyusun hambatan total kapal yang diakibatkan oleh gesekan antara badan kapal di atas permukaan air dengan fluida udara. Berdasarkan Gambar 7, besar hambatan udara yang dihasilkan kapal yaitu senilai 0,03% hingga 9,45% dari nilai hambatan total kapal, hal ini relatif kecil jika dibandingkan nilai dengan hambatan gelombang dan hambatan viskos.

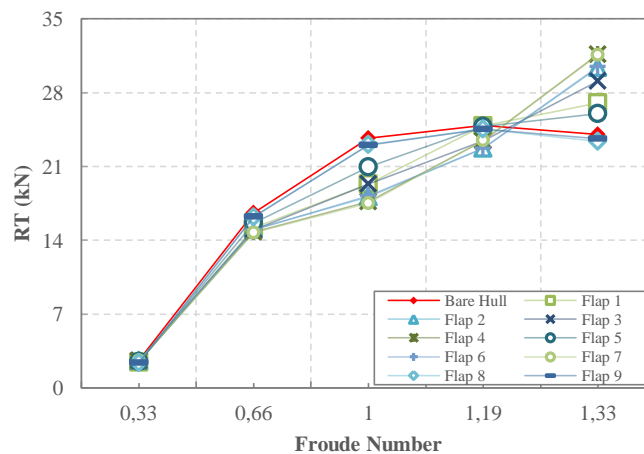


Gambar 7. Hambatan Udara Variasi Stern flap
(Sumber: Hasil Simulasi CFD)

Dari Gambar 7 didapat bahwa nilai hambatan udara dari setiap variasi *stern flap* cenderung fluktuatif. Akan tetapi nilai hambatan udara relatif mengalami peningkatan yang signifikan pada Fr 1,00 dan Fr 1,19, peningkatan nilai hambatan udara tersebut terjadi akibat bertambahnya luasan permukaan badan kapal yang bergesekan dengan fluida udara, kemudian mengalami pengurangan nilai hambatan udara pada Fr 1,33, yang berarti kapal semakin terbenam ke dalam fluida air.

3.4. Hambatan Total Kapal

Hambatan total tersusun dari 3 komponen penyusun hambatan total yaitu hambatan viskos, hambatan gelombang, dan hambatan udara. Setelah disimulasikan, diperoleh bahwa nilai hambatan total kapal didominasi oleh hambatan gelombang, lalu hambatan viskos, dan terakhir yaitu oleh hambatan udara.

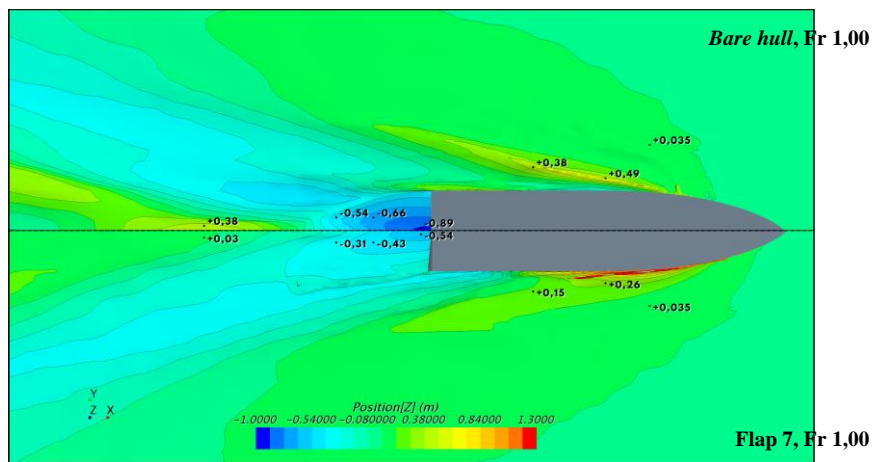


Gambar 8. Hambatan Total Variasi Stern flap

(Sumber: Hasil Simulasi CFD)

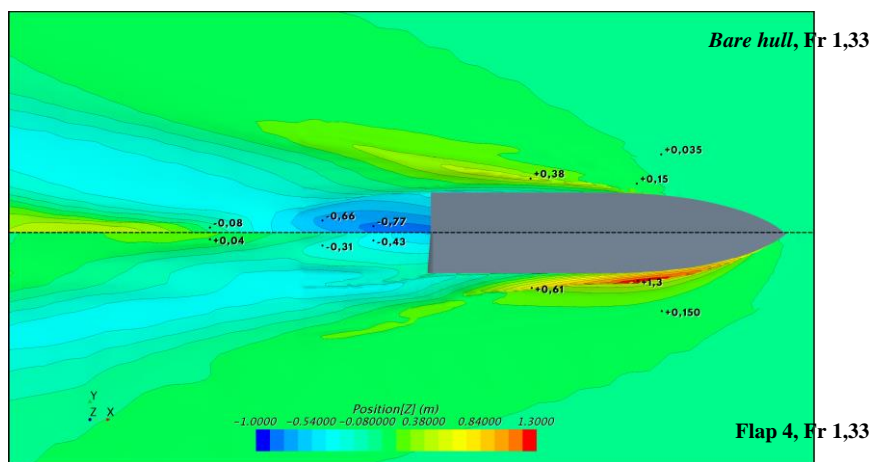
Berdasarkan hasil simulasi numerik pada Gambar 8 didapat bahwa pada Fr 0,33 hingga Fr 1,19 *stern flap* variasi Flap 1 hingga Flap 9 seluruhnya memiliki kecenderungan yang sama yaitu mengalami penurunan nilai hambatan total dibandingkan kapal kondisi *bare hull*, bahkan didapat pengurangan nilai hambatan total tertinggi pada Fr 1,00 oleh Flap 7 sebesar -26,07%.

Menurut Gambar 9 yang merupakan visualisasi gelombang variasi pengurangan nilai hambatan tertinggi yaitu Flap 7 pada Fr 1,00 didapat bahwa gelombang divergent pada sisi kapal berkurang serta kecuraman tinggi gelombang pada sistem gelombang menjadi lebih landai. Hal ini sesuai dengan hasil pengurangan nilai hambatan total yang didominasi oleh berkurangnya nilai hambatan gelombang yang cukup besar serta hambatan udara berkurang namun cenderung kecil.



Gambar 9. Visualisasi Gelombang Flap 7, Fr 1,00
(Sumber: Hasil Simulasi CFD)

Variasi Flap 1 hingga Flap 7 pada Fr 1,33 secara drastis mengalami peningkatan nilai hambatan hingga yang tertinggi yaitu pada variasi Flap 4 sebesar 31,71% dengan visualisasi gelombang pada Gambar 10. Bertambahnya nilai hambatan total terjadi akibat meningkatnya nilai hambatan viskos yang sangat pesat, kemudian disusul dengan bertambahnya nilai hambatan gelombang, sedangkan hambatan udara mengalami penurunan yang cenderung kecil. Hal ini menjadikan variasi Flap 1 hingga 7 hanya efektif digunakan jika kapal melaju pada Fr 0,33 hingga Fr 1,19, dan tidak efektif pada Fr 1,33.



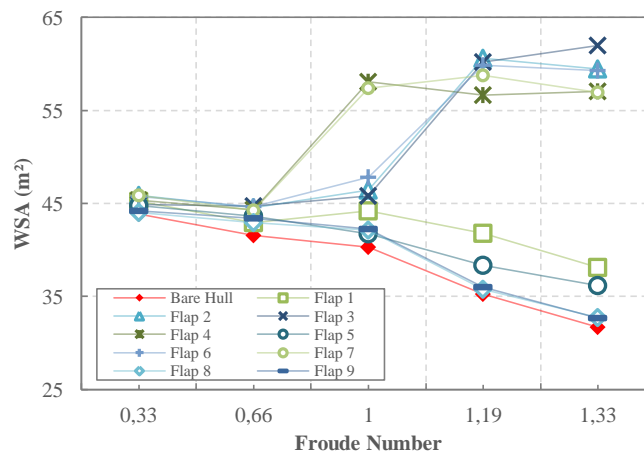
Gambar 10. Visualisasi Gelombang Flap 4, Fr 1,33
(Sumber: Hasil Simulasi CFD)

Tidak seperti variasi Flap 1 hingga Flap 7, variasi Flap 8 dan Flap 9 secara konsisten mampu memberikan pengaruh pengurangan nilai hambatan pada seluruh *Froude number* dari Fr 0,33 hingga Fr 1,33. Pada Fr 1,33 variasi Flap 8 mampu mengurangi hambatan sebesar -2,67% dan Flap 9 sebesar -1,72%. Penyebab berkurangnya nilai hambatan kedua variasi ini pada Fr 1,33 yaitu didominasi oleh berkurangnya nilai hambatan udara, kemudian disusul oleh berkurangnya nilai hambatan gelombang. Sementara hambatan viskos mengalami peningkatan yang relatif kecil.

Jika dilakukan peninjauan karakteristik geometri pada seluruh *stern flap*, variasi Flap 1 hingga Flap 7 memiliki kesamaan yaitu pada bagian *center/ side area* memiliki sudut kemiringan sebesar 10°, serta terdapat perbedaan panjang flap pada bagian *center, side, maupun upper area*. Sedangkan untuk variasi Flap 8 dan Flap 9 keduanya memiliki sudut kemiringan sebesar 0° serta panjang flap yaitu 1% Lwl pada bagian *center, side, dan upper area*.

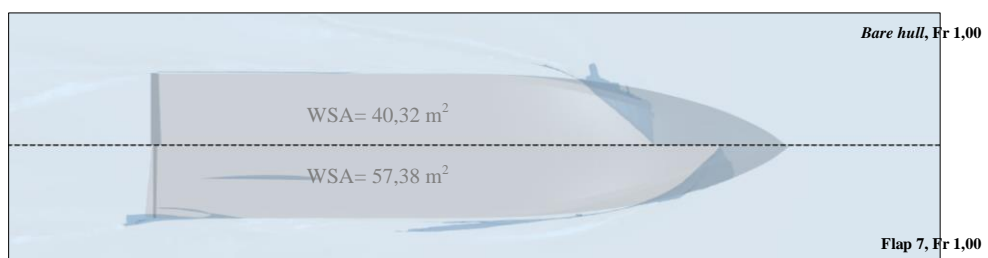
3.5. Nilai WSA Kapal

Berdasarkan hasil simulasi didapatkan hasil perubahan nilai WSA seperti pada Gambar 11 berikut:



Gambar 11. Nilai WSA Variasi Stern flap (Sumber: Hasil Simulasi CFD)

Didapat dari Gambar 11 di atas bahwa seluruh kapal dengan penambahan variasi *stern flap* mengalami kenaikan nilai WSA saat melaju dari Fr 0,33 hingga Fr 1,33 jika dibandingkan dengan nilai WSA yang dimiliki kapal *bare hull*.

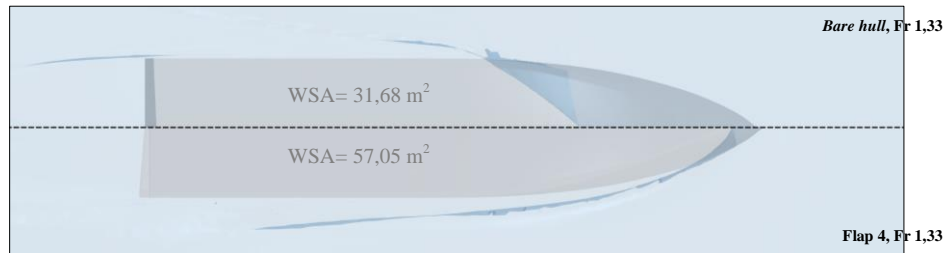


Gambar 12. WSA Variasi Flap 7, Fr 1,00 (Sumber: Hasil Simulasi CFD)

Meningkatnya nilai WSA kapal setelah instalasi *stern flap* berbanding lurus dengan peningkatan nilai hambatan viskos kapal. Akibatnya didapat peningkatan nilai WSA yang cukup tinggi pada Fr 1,00, Fr 1,19, dan Fr 1,33 oleh variasi Flap 2, Flap 3, Flap 4, Flap 6, dan Flap 7 menyebabkan nilai hambatan viskos bertambah secara drastis. Sementara peningkatan nilai WSA yang cenderung rendah pada variasi Flap 1, Flap 5, Flap 8, dan Flap 9 juga menghasilkan nilai

hambatan viskos yang rendah.

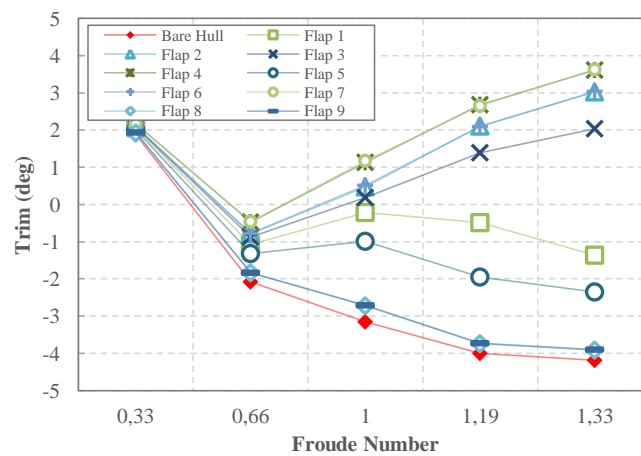
Nilai WSA yang diperoleh variasi pengurangan nilai hambatan tertinggi yaitu Flap 7 pada Fr 1,00 dengan variasi penambah nilai hambatan tertinggi Flap 4 pada Fr 1,33 keduanya mengalami kenaikan nilai WSA yang cukup tinggi, sehingga hambatan viskos kapal pada kedua variasi ini mengalami peningkatan. Namun jika membandingkan visualisasi WSA pada Gambar 12 dan Gambar 13 diperoleh bahwa fraksi volum dari fluida air didapat lebih besar pada variasi Flap 4 Fr 1,33, hal ini menyebabkan bertambahnya nilai hambatan viskos pada variasi Flap 4 Fr 1,33 jauh lebih besar dibandingkan oleh Flap 7 Fr 1,00.



Gambar 13. WSA Variasi Flap 4, Fr 1,33
(Sumber: Hasil Simulasi CFD)

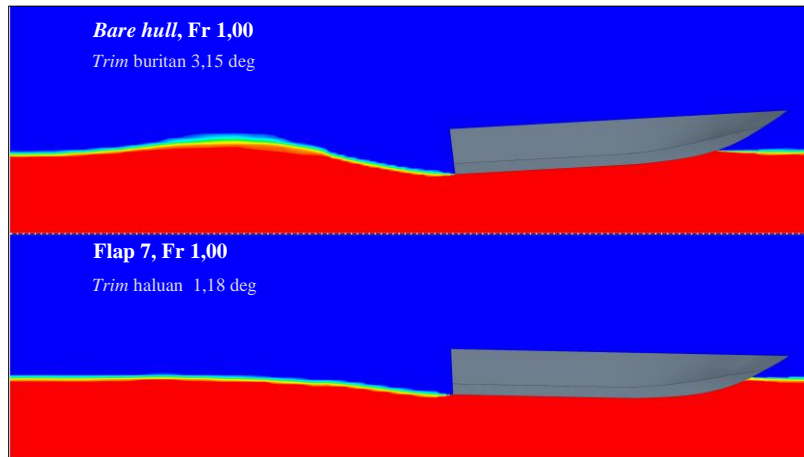
3.6. Nilai Trim dan Gaya Angkat Kapal

Perolehan perubahan nilai *trim* kapal dipengaruhi sebab adanya perubahan nilai *lift force* yang dihasilkan dari instalasi *stern flap*. Maka dari itu didapat nilai *trim* ialah seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Nilai Trim Variasi Stern flap
(Sumber: Hasil Simulasi CFD)

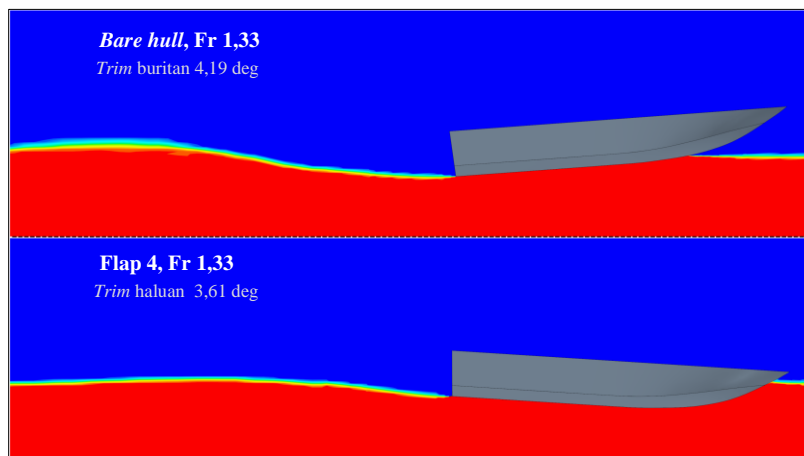
Dari hasil simulasi pada Gambar 14 diperoleh bahwa kapal *bare hull* selama melaju dari kecepatan rendah hingga maksimum mengalami tren *trim* kapal terhadap buritan yang terus meningkat hingga nilai *trim* buritan terbesar pada Fr 1,33 sebesar 4,19°.



Gambar 15. Trim Variasi Flap 7, Fr 1,00
(Sumber: Hasil Simulasi CFD)

Setelah disimulasikan penambahan variasi *stern flap*, didapat pada Fr 0,33 dan Fr 0,66 kecenderungan hasil simulasi semua variasi memiliki nilai yang tidak jauh berbeda, namun semakin tinggi kecepatan kapal, nilai *trim* semakin bervariasi. Perubahan nilai *trim* pada kapal cepat *planing hull* mampu memberikan dampak besar pada perubahan nilai hambatan viskos, hambatan gelombang, dan hambatan udara kapal sebab sifat nilai *trim* kapal *planing hull* yang cenderung berubah-ubah sepanjang bertambahnya nilai *Froude number* kapal.

Dari variasi *stern flap* dengan pengurangan nilai hambatan tertinggi yaitu Flap 7 pada Fr 1,00 diperoleh visualisasi *trim* kapal pada Gambar 15 yang mengalami kenaikan menjadi *trim* haluan namun sudut *trim* relatif kecil atau mendekati kondisi even keel. Komponen hambatan yang berperan tinggi pada pengurangan nilai hambatan yaitu ialah hambatan gelombang, disusul oleh hambatan udara, sedangkan hambatan viskos mengalami peningkatan.



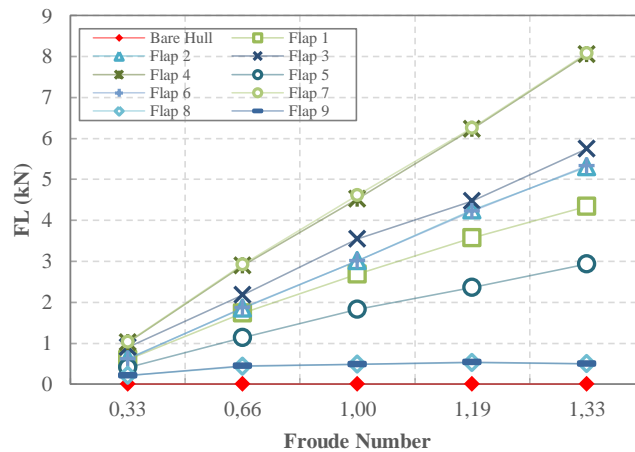
Gambar 16. Trim Variasi Flap 4, Fr 1,33
(Sumber: Hasil Simulasi CFD)

Disamping itu, nilai sudut *trim* haluan yang terlalu besar seperti yang terjadi pada visualisasi *trim* dari Gambar 16 dapat memberikan dampak buruk yaitu mampu menambah nilai hambatan viskos dan gelombang pada kapal *planing hull* secara signifikan saat kapal melaju pada kecepatan tinggi, *trim* haluan ini menyebabkan badan kapal semakin terbenam pada fluida air hingga nilai WSA bertambah, hal ini terjadi pada *stern flap* variasi Flap 2, Flap 3, Flap 4, Flap 6, dan Flap 7 pada Fr 1,33.

Sebaliknya, nilai *trim* buritan yang ideal didapat mampu memberi pengurangan nilai

hambatan kapal *planing hull* pada kecepatan tinggi, berkurangnya nilai hambatan ini didominasi oleh berkurangnya nilai hambatan udara dan hambatan gelombang sedangkan hambatan viskos tetap mengalami kenaikan akibat WSA yang meningkat namun nilainya relatif kecil, sebagai contoh ialah variasi Flap 8 dan Flap 9 pada Fr 1,33.

Perubahan nilai *trim* kapal dipengaruhi oleh perbedaan gaya angkat yang terjadi pada bagian *stern flap* serta gaya angkat pada bagian badan kapal sepanjang bertambahnya nilai *Froude number*.

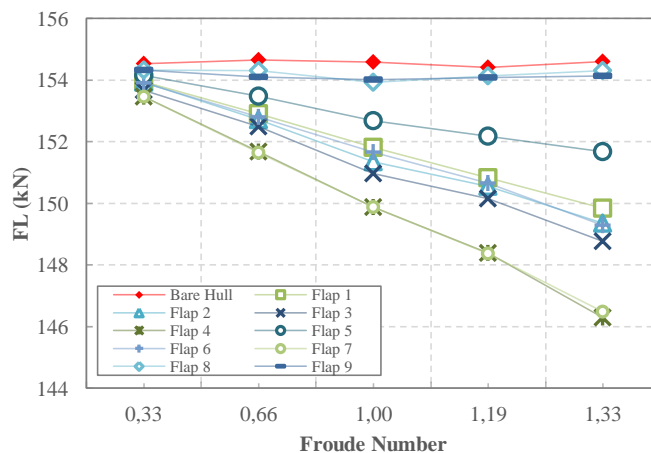


Gambar 17. Gaya Angkat pada *Stern flap*
(Sumber: Hasil Simulasi CFD)

Dari Gambar 17 diperoleh bahwa seiring bertambahnya nilai *Froude number*, besarnya nilai *lift force* yang terjadi pada *stern flap* secara konsisten mengalami peningkatan. Variasi *stern flap* dengan nilai gaya angkat tertinggi diperoleh oleh variasi Flap 7, sementara nilai *lift force* terendah didapat oleh variasi Flap 8.

Semakin besar gaya angkat pada *stern flap*, maka bagian buritan kapal semakin terangkat ke atas, hal ini mempengaruhi perubahan nilai *trim* kapal juga berdampak pada perubahan nilai WSA kapal hingga akhirnya mempengaruhi nilai hambatan total kapal.

Jika ditinjau dari bentuk geometri *stern flap*, variasi yang memiliki sudut kemiringan 10° mengalami peningkatan gaya angkat yang besar pada *stern flap* seiring bertambahnya nilai *Froude number* kapal, variasi ini ialah Flap 1 hingga Flap 7.



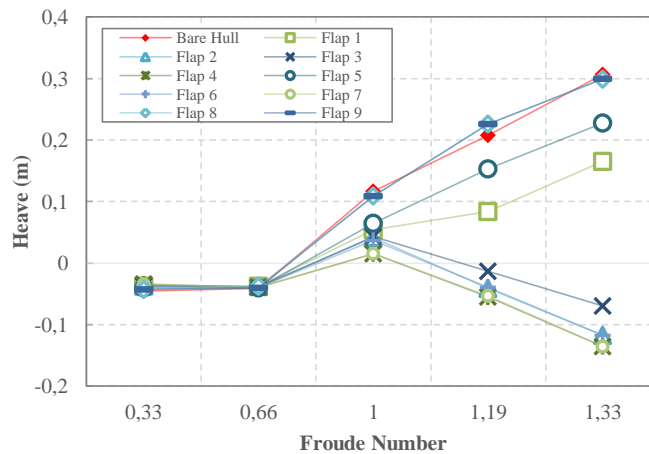
Gambar 18. Gaya Angkat pada Badan Kapal
(Sumber: Hasil Simulasi CFD)

Berkebalikan dengan gaya angkat yang terjadi pada *stern flap*, dari Gambar 18 didapat gaya

angkat pada bagian badan kapal justru mengalami tren penurunan nilai gaya angkat seiring bertambahnya nilai *Fr* kapal, dampak dari hal ini ialah badan kapal semakin terbenam terutama pada bagian haluan kapal, mengakibatkan kapal *trim* haluan sebab pada bagian buritan kapal nilai gaya angkat bertambah.

3.7. Nilai Heave Kapal

Berdasarkan grafik hasil simulasi nilai *heave* pada Gambar 19 diperoleh bahwa untuk kapal kondisi *bare hull* seiring bertambahnya kecepatan, nilai *heave* kapal semakin tinggi.



Gambar 19. Nilai *Heave* Variasi *Stern Flap*
(Sumber: Hasil Simulasi CFD)

Setelah dilakukan simulasi penambahan variasi *stern flap*, didapat bahwa pada *Fr* 0,33 dan *Fr* 0,66 seluruh variasi memiliki nilai *heave* yang cenderung tidak terlalu berbeda, seiring bertambahnya kecepatan kapal, nilai *heave* tiap variasi semakin beragam namun tidak berubah secara signifikan.

Saat kapal melaju pada kecepatan maksimum atau *Fr* 1,33, didapat kenaikan nilai *heave* tertinggi pada variasi Flap 8 dan Flap 9, dimana hanya kedua variasi inilah yang mampu mengurangi nilai hambatan pada kecepatan maksimum.

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi numerik di atas yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi *stern flap* terhadap nilai hambatan total kapal patroli 14 m dengan berbentuk *planing hull* diperoleh bahwa terjadi pengurangan nilai hambatan tertinggi oleh variasi Flap 7 pada *Fr* 1,00 sebesar -26,07% akibat berkurangnya nilai hambatan gelombang yang cukup besar, kemudian penambahan nilai hambatan tertinggi oleh variasi Flap 4 pada *Fr* 1,33 sebesar 31,71% akibat bertambahnya hambatan viskos yang besar serta bertambahnya hambatan gelombang. Namun variasi Flap 1 hingga Flap 7 hanya mampu mengurangi nilai hambatan pada *Fr* 0,33 hingga *Fr* 1,19, sedangkan pada *Fr* 1,33 variasi *stern flap* tersebut sudah tidak efektif lagi sebab terjadi peningkatan nilai hambatan viskos yang sangat signifikan.

Variasi Flap 1 hingga Flap 7 memiliki kemiripan karakteristik geometri sehingga didapat bahwa *stern flap* dengan perbedaan sudut dan perbedaan panjang flap antara bagian *center*, *side*, dan *upper area* menyebabkan *stern flap* menjadi kurang efektif pada kecepatan tinggi.

Adapun Variasi yang mampu memberi pengurangan nilai hambatan pada seluruh *Froude number* ialah variasi Flap 8 dan Flap 9, dimana kedua variasi ini memiliki karakteristik geometri nilai sudut flap sebesar 0° dan panjang flap 1% *Lwl*. Pada kedua variasi ini pengurangan nilai hambatan total didominasi oleh berkurangnya nilai hambatan udara, kemudian disusul oleh berkurangnya nilai hambatan gelombang, sementara hambatan viskos mengalami peningkatan yang relatif kecil.

Gaya angkat yang dihasilkan *stern flap* semakin besar seiring bertambahnya nilai *Froude number* kapal, sementara gaya angkat pada bagian badan kapal semakin berkurang, hal ini

menyebabkan buritan kapal semakin terangkat dan kapal yang mulanya *trim* buritan berubah menjadi *trim* haluan.

Perubahan *trim* berperan besar terhadap perubahan nilai hambatan total kapal. Dimana variasi dengan sudut flap 10° mampu menyebabkan kapal *trim* haluan terutama pada Fr 1,33, akibatnya WSA kapal meningkat dan hambatan viskos kapal bertambah besar. Sedangkan variasi *stern flap* dengan sudut flap 0° pada Fr 1,33 mampu menghasilkan *trim* yang baik terhadap nilai hambatan hingga penambahan hambatan viskos cenderung kecil.

Untuk peninjauan nilai *heave*, diperoleh bahwa kapal akibat instalasi *stern flap* mengalami perubahan nilai *heave* yang relatif kecil, sehingga peran *heave* pada perubahan nilai hambatan tidak terlalu berarti.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Perancangan Kapal Dibantu Komputer Universitas Diponegoro atas fasilitas dan dukungannya dalam melakukan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Bertram, V. (2012) *Practical Ship Hydrodynamics*. 2nd Edition. Oxford: Elsevier's Science & Technology.
- Fathuddiin, A., Samuel, and Kiryanto (2020), Prediksi Hambatan Kapal dengan Menggunakan Metode Overset Mesh pada Kapal Planing Hull, *Jurnal Rekayasa Hijau*, 4(1), pp. 24–34. doi: 10.26760/jrh.v4i1.24-34.
- Fretes, E. R. D. (2018), Analisa Numerik Pemilihan Geometri Fin Buritan untuk Kapal-Kapal Speed Boat yang Beroperasi di Ambon dan Sekitarnya, in *Archipelago Engineering*, pp. 80–85.
- ITTC (2011), *Practical Guidelines for Ship CFD Applications*, in *ITTC – Recommended Procedures and Guidelines ITTC*, pp. 1–18.
- Jokosisworo, S., Iqbal, M., Manik, P., and Rindo, G. (2020), Verifikasi Deep - V Planing Hull Menggunakan Finite Volume Method Pada Kondisi Air Tenang, *TEKNIK*, 41(2), pp. 126–133. doi: 10.14710/teknik.v41n2.29391.
- Khazaei, R., Rahmansetayesh, M. A. and Hajizadeh, S. (2019), *Hydrodynamic Evaluation of A Planing Hull in Calm Water Using RANS and Savitsky's Method*, *Ocean Engineering*. Elsevier Ltd, 187, p. 106221. doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.106221.
- Klara, S., Mahmuddin, F., Hariyanto, S., Sitepu, G., and Aman, A. A. (2020), *Effect of Different Stern Flap Position and Size as an Energy Saving Device (ESD) for Increasing Fishing Boat Speed*, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 875(1). doi: 10.1088/1757-899X/875/1/012079.
- Maki, A., Arai, J., Tsutsumoto, T., Suzuki, K., and Miyauchi, Y. (2016), *Fundamental Research on Resistance Reduction of Surface Combatants due to Stern Flaps*, *Journal of Marine Science and Technology (Japan)*, 21(2), pp. 344–358. doi: 10.1007/s00773-015-0356-8.
- Maulana, A. (2018), Analisa Penambahan *Stern Flap* pada Kapal Hull Planing Chine Axe Bow Pengaruhnya Terhadap Tahanan Kapal. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Available at: <http://repository.its.ac.id/id/eprint/50140>.
- Muhamad, S. V. (2012), *Illegal Fishing* di Perairan Indonesia: Permasalahan dan Upaya

- Penanganannya Secara Bilateral di Kawasan', *Jurnal Ilegal Fishing*, 3(1), pp. 59–86. doi: 10.1002/asi.
- Nooryadi, L. and Suastika, K. (2012), Perhitungan *Wave Making Resistance* pada Kapal Katamaran dengan Menggunakan CFD', *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), pp. 30–34.
- Song, K. W., Guo, C. Y., Gong, J., Li, P., and Wang, L. Z. (2018), *Influence of interceptors, stern flaps, and their combinations on the hydrodynamic performance of a deep-vee ship*, *Ocean Engineering*, 170, pp. 306–320. doi: 10.1016/j.oceaneng.2018.10.048.
- Song, K. W., Guo, C. Y., Wang, C., Sun, C., Li, P., and Wang, W. (2019) , *Numerical analysis of the effects of stern flaps on ship resistance and propulsion performance*, *Ocean Engineering*. Elsevier Ltd, 193, p. 106621. doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.106621.
- Sun, C., Xu, X., Wang, W., and Xu, H. (2020), *Influence on Stern Flaps in Resistance Performance of a Caterpillar Track Amphibious Vehicle*, *IEEE Access*, 8, pp. 123828–123840. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2993372.
- Widyatmoko, A., Samuel, S., Manik, P., and Trimulyono, A. (2021), Analisis Pengaruh Jumlah *Bilge Keel* terhadap Gerakan Rolling pada Kapal Patroli 14 m', *Warta Penelitian Perhubungan*, 33(1), pp. 1–10. doi: 10.25104/warlit.v33i1.1667.
- Yaakob, O., Shamsuddin, S. and Koh, K. K. (2012), *Stern Flap for Resistance Reduction of Planing Hull Craft: A Case Study with a Fast Crew Boat Model*, *Jurnal Teknologi*, 41(1). doi: 10.11113/jt.v41.689.

