



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Variasi Twin Step Hull pada Kapal Pilot Boat 15 Meter ALU dengan Menggunakan Metode CFD

Habib Zubaer¹⁾, Untung Budiarto¹⁾, Muhammad Iqbal¹⁾

Laboratorium Hydrodnamika

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas , Universitas Diponegoro

Email: habibzubaer995@gmail.com, budiartountung@gmail.com, iqbal.muhammad1412@gmail.com

Abstrak

Pesatnya perkembangan teknologi telah merambah ke dunia perkapalan, tidak terkecuali kapal cepat. Kini berbagai strategi untuk menciptakan kapal berkecepatan tinggi dengan nilai hambatan sekecil-kecilnya telah menghasilkan berbagai jenis modifikasi lambung, salah satunya adalah *Twin Stephull*. *Twin Stephull*, yaitu merupakan modifikasi bentuk lambung berupa step melintang yang ditempatkan pada bawah lambung kapal. Aplikasi penggunaan *twin stephull* dapat menurunkan sudut trim sehingga stabilitas kapal lebih baik, meningkatkan kinerja hidrodinamik, dan memperkecil luas permukaan basah sehingga bisa mengurangi hambatan yang dihasilkan. Pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan optimasi hambatan terhadap variasi posisi *twin stephull*. Dalam melaksanakan penelitian ini penulis menggunakan program komputer berbasis *Computational Fluid Dynamic(CFD)* untuk penyelesaian masalah dari tujuan penelitian, *Computational fluid dynamic(CFD)* merupakan ilmu sains dalam penentuan penyelesaian numerik dinamika fluida. Penelitian dilakukan dengan cara menganalisa dan menghitung gaya angkat yang bekerja pada kapal, perubahan displamen, dan pengurangan hambatan total kapal menggunakan model. Berdasarkan hasil analisa menggunakan software Tdyn 12.2.3.0 didapatkan nilai hambatan total yang dapat diperkecil hingga 28,39%, nilai ini terjadi pada kapal variasi model C pada Froude Number 1,26.

Kata Kunci : kapal cepat, *twin stephull*, gaya angkat, hambatan, CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permintaan akan kapal cepat kini semakin meningkat demi untuk memenuhi kebutuhan dibidang militer dan pertahanan negara, bidang rekreasi dan pariwisata, bidang kompetisi dan balap hingga kebutuhan akan kapal pribadi. Karakter kecepatan tinggi ini telah membuatnya menjadi populer sehingga menyebabkan banyaknya perkembangan beberapa bentuk desain lambung yang canggih, misalnya kapal *planing hull* yang biasa digunakan untuk transportasi air berkecepatan tinggi yang mana sebagian besar beratnya di dukung oleh tekanan hidrodinamik saat melaju dengan kecepatan tinggi dan kecepatannya mempengaruhi drag dengan energi yang diberikan oleh mesin kapal.

Selain itu, pesatnya perkembangan teknologi yang telah merambah ke berbagai sektor industri perkapalan khususnya pada jenis kapal cepat telah mendorong lahirnya berbagai macam modifikasi dan inovasi mulai dari sector mesin, propulsi, hingga desain lambung kapal menjadi strategi dari pembuatan kapal cepat demi mendapatkan performa kecepatan kapal setinggi mungkin dengan nilai hambatan sekecil mungkin. Salah satu jenis modifikasi lambung pada kapal cepat adalah *Twin Stephull*, yaitu merupakan modifikasi bentuk lambung berupa step melintang yang ditempatkan pada bawah lambung kapal. Aplikasi penggunaan *twinstephull* dapat menurunkan sudut trim sehingga stabilitas kapal lebih stabil, meningkatkan kinerja hidrodinamik, dan memperkecil luas permukaan basah sehingga bisa mengurangi hambatan yang dihasilkan.

Modifikasi penambahan *twin stephull* pada kapal *planing hull* diharapkan dapat memberikan perubahan dengan adanya penurunan hambatan untuk menghasilkan efektifitas yang lebih baik. Pada penelitian ini akan di bahas tentang strategi perancangan kapal cepat agar lebih optimal dengan modifikasi *twin stephull* yaitu dengan 5 variasi posisi peletakan *step* dengan variasi A (di *midship* dan 4 *frame* dibelakangnya), B (di *midship* dan 2 *frame* dibelakangnya), C (di *midship* dan 4 *frame* di depannya), D (di *midship* dan 2 *frame* di depannya) dan E (4 *frame* di belakang dan 4 *frame* di depan *midship*) yang akan divariasikan dengan 4 kecepatan, kemudian dianalisa modifikasi *stephull* yang memiliki hambatan paling minimal dan gaya angkat paling optimal dengan menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*).

1.2. Perumusan Masalah

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang ada terdapat pada latar belakang, maka diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapakah gaya angkat yang dihasilkan kapal dengan variasi *twin stephull* ?
2. Seberapa besar perubahan *displacement* dikarenakan pengaruh penggunaan *twin stephull*?
3. Seberapa besar perubahan hambatan kapal setelah diberi modifikasi *twin stephull* dan variasi mana yang menghasilkan hambatan terkecil?
4. Berapakah *Effective Horse Power* (EHP) dari setiap variasi *twin stephull*?
5. Dengan modifikasi *twin stephull* variasi manakah yang memiliki nilai paling optimum?

1.3. Pembatasan Masalah

Batasan masalah digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan penelitian, sehingga sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang di harapkan. Batasan permasalahan yang di bahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bentuk lambung kapal yang digunakan adalah *Monohull*.
2. Tidak melakukan pengujian *Towing Tank*.
3. Bahasan kekuatan dan permesinan kapal tidak dibahas mendalam.
4. Variasi kecepatan hanya yang memenuhi ketentuan *savitsky* yaitu $F_n > 1,0$
5. Variasi posisi *twin stephull* hanya berdasarkan jarak antar *frame* kapala asli.

6. Modifikasi *twin stephull* yang dikaji hanya terbatas pada analisa hambatan dan gaya angkat.
7. Hanya membandingkan desain yang ada.
8. Tinggi *stephull* yang dipakai yaitu 16% dan 32% setinggi sarat diukur dari *baseline*.
9. Acuan utama penempatan *twin stephull* bertumpu pada *midship* kapal sesuai dengan yang diteliti penelitian sebelumnya.
10. Variasi kecepatan yang digunakan adalah 22, 24, 26, dan 28 knot.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang serta permasalahannya maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui perubahan gaya angkat dari setiap variasi modifikasi *twin stephull*.
2. Mengetahui besar perubahan *displacement* pada kapal hasil modifikasi *twin stephull*.
3. Mengetahui perbedaan hambatan dari setiap variasi modifikasi *twin stephull* tersebut beserta persentase penurunan hambatannya.
4. Mengetahui EHP (*Effective Horse Power*) dari setiap variasi model *twin stephull*.
5. Mendapatkan variasi model paling optimal dengan analisa CFD.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum Kapal Cepat

Kapal cepat adalah kapal dengan kecepatan operasi maksimum diatas 30 knot, mengingat banyaknya ragam karakteristik hidrostatis kapal dengan menggunakan *Froude number* (F_n), maka kapal dengan F_n diatas 0,4 atau *submerged hull* (lambung tercelup) masih tergolong sebagai kapal cepat seperti kapal *conventional monohull* dan *catamaran*. Berdasarkan F_n nya, kapal cepat dibagi kedalam 3 jenis : *Displacement vessel* ($F_n < 0,4$), *Semi-displacement vessel* ($0,4 < F_n < 1,0 - 1,2$), dan *Planning vessel* ($F_n > 1,0 - 1,2$). [1]

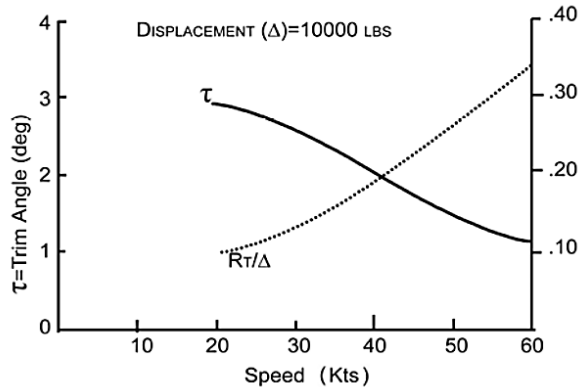
Pada suatu kondisi air yang tenang, suatu fenomena hidrodinamik yang terjadi pada kapal yang dirancang sebagai kapal *water planning* seperti halnya yang terjadi pada kapal cepat, terjadi kondisi kondisi sebagai berikut [2] :

- a. Lambung memiliki sifat sebagai lambung *displasemen* (pada kondisi lambung memiliki kecepatan nol atau pada kecepatan rendah).
- b. Sebagaimana kecepatan meningkat, lambung akan mendapatkan pengaruh dinamik dari aliran, dikarenakan terjadi peningkatan kecepatan aliran.
- c. Pada kecepatan yang lebih tinggi hingga tercapai koefisien kecepatan antara 0,5 hingga 1,5, maka gaya dinamik tersebut akan berkontribusi menjadi daya angkat (lift).

d. Pada koefisien kecepatan yang lebih besar dari 1,5, suatu lambung kapal cepat yang dirancang secara baik akan ikut membangkitkan gaya angkat dinamik, yang berpengaruh pada kenaikan titik pusat grafitasi (kenaikan pada lambung).

2.2. Gambaran umum Stephull

Pada kapal cepat dengan modifikasi *stephull*, sudut *trim* dari kapal *monohull planing* akan berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan sedangkan rasio hambatan/displasemen akan bertambah seiring dengan meningkatnya kecepatan. [7]



Gambar 1. Grafik rasio hambatan/displasemen dan sudut *trim* terhadap kecepatan

2.3. Savitsky's Formula

Pada kapal cepat, rumus yang digunakan untuk menghitung hambatan total kapal adalah dengan menggunakan *savitsky's formula*. Dari hasil analisa savitsky, komponen hambatan pada kapal cepat terdiri dari tekanan (*pressure force*) dan kekentalan (*viscous drag*). Komponen hambatan yang disebabkan oleh gaya tekan karena berat kapal yaitu [3]:

$$D_p = \Delta \tan \tau \quad (1)$$

Dimana,

Δ = Displasemen (ton)

τ = Sudut Trim (deg)

Komponen gesek D_f dihitung dalam persamaan berikut :

$$D_f = \frac{C_f \rho V^2 (\lambda b^2)}{2 \cos \beta} \quad (2)$$

Dimana,

C_f = koefisien gesek *Schoenherr*

V = kecepatan (m/s)

λ = L/B area basah

b = lebar *chain* (m)

β = sudut *deadrise* (deg)

SCHOENHERR FRICTION COEFFICIENTS SMOOTH SURFACE - TURBULENT FLOW UNIVERSITY OF MICHIGAN NAVAL TANK											
$Re \frac{S}{L} \times 10^{-6}$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
5.5	4.961	4.959	4.957	4.955	4.953	4.952	4.950	4.948	4.946	4.944	4.943
5.6	4.943	4.941	4.939	4.937	4.936	4.934	4.932	4.930	4.929	4.927	4.925
5.7	4.925	4.923	4.922	4.920	4.918	4.916	4.915	4.913	4.911	4.910	4.908
5.8	4.908	4.906	4.904	4.903	4.901	4.900	4.898	4.896	4.894	4.893	4.891
5.9	4.891	4.889	4.888	4.886	4.884	4.883	4.881	4.880	4.878	4.876	4.875
6.0	4.875	4.873	4.871	4.870	4.868	4.867	4.865	4.863	4.862	4.860	4.859
6.1	4.859	4.857	4.855	4.854	4.852	4.851	4.849	4.848	4.846	4.844	4.843
6.2	4.843	4.841	4.840	4.838	4.836	4.835	4.833	4.832	4.830	4.829	4.827
6.3	4.827	4.826	4.824	4.823	4.821	4.820	4.818	4.817	4.815	4.814	4.812
6.4	4.812	4.811	4.809	4.808	4.806	4.805	4.803	4.802	4.800	4.799	4.797
6.5	4.797	4.796	4.794	4.793	4.792	4.790	4.789	4.787	4.786	4.784	4.783
6.6	4.783	4.781	4.780	4.778	4.777	4.776	4.774	4.773	4.771	4.770	4.768
6.7	4.768	4.767	4.766	4.764	4.763	4.762	4.760	4.759	4.757	4.756	4.754
6.8	4.754	4.753	4.752	4.750	4.749	4.748	4.746	4.745	4.744	4.742	4.741
6.9	4.741	4.739	4.738	4.737	4.735	4.734	4.733	4.731	4.730	4.729	4.727
7.0	4.727	4.726	4.725	4.723	4.722	4.721	4.719	4.718	4.717	4.715	4.714
7.1	4.714	4.713	4.711	4.710	4.709	4.707	4.706	4.705	4.704	4.702	4.701
7.2	4.701	4.700	4.698	4.697	4.696	4.694	4.693	4.692	4.691	4.690	4.688
7.3	4.688	4.687	4.686	4.684	4.683	4.682	4.681	4.679	4.678	4.677	4.676

Gambar 2. Tabel koefisien gesek *Schoenherr*

Penentuan nilai koefisien gesek *Schoenherr* (C_f) [6] didasarkan pada angka Reynold :

$$R_n = \frac{v \lambda b}{\nu} \quad (3)$$

Dimana,

R_n = bilangan reynold

V = kecepatan kapal (m/s)

b = lebar *chain* (m)

ν = kinematic viscosity

= $1,18 \times 10^{-6}$ (m²/s)

λ = nilai perbandingan antara panjang dan lebar pada area basah kapal

Dari persamaan-persamaan diatas, savitsky menyimpulkan hasil dari total drag yaitu :

$$D = \Delta \tan \tau + \frac{D_f}{\cos \tau} \quad (4)$$

Jadi dengan mensubstitusikan persamaan (1) dan (2) ke dalam persamaan (4), hambatan total dihitung dengan persamaan :

$$RT = \Delta \tan \tau + \frac{\frac{1}{2} \rho V^2 8b^2 C_f}{\cos \tau \cos \beta} \quad (5)$$

2.4. Koreksi Trim

Koreksi sudut trim yang pada kapal modifikasi *stephull* menggunakan persamaan berikut [4]:

$$\Delta \alpha = \frac{My}{\rho g I_y} \quad (6)$$

Dimana,

$\Delta \alpha$ = Koreksi sudut trim

My = Momen trim

ρ = Massa jenis fluida

g = Percepatan gravitasi

I_y = Momen inersia y-axis (*pitching*)

2.5. Momen Inersia *Pitching* Kapal

Momen Inersia *Pitching* dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [5] :

$$I_{yy} = \frac{1}{g} \sum [w_i (x_i^2 + z_i^2)] \quad (7)$$

Dimana,

g = Percepatan gravitasi

w_i = Berat setiap fraksi

x_i = Jarak memanjang dari CG setiap fraksi ke CG kapal

z_i = Jarak vertical dari CG setiap fraksi ke CG kapal

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Ukuran Utama Kapal

Ukuran utama kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

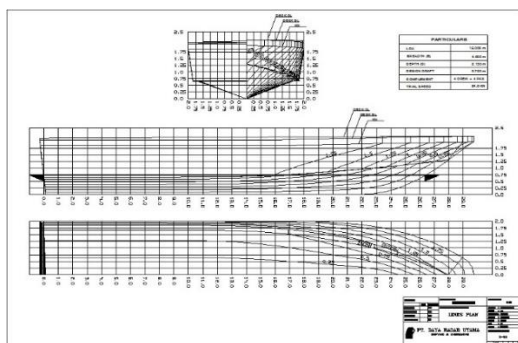
Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

No	Nama	Ukuran
1	Length Over All	15 m
2	Length of Waterline	13,20 m
3	Length of Perpendicular	13,25 m
4	Breadth	3,72 m
5	Draft	0,72 m
7	Depth	2,13 m
8	Displacement	14,02 Ton

Dalam aplikasi penggunaan *software CFD*, mula-mula model kapal dibuat dalam bentuk *3D* berdasarkan rencana garis, lalu model kapal diskala 1:30 untuk kemudian dianalisa. Berikut adalah ukuran utama kapal setelah diskala :

Tabel 2. Ukuran Utama Kapal skala 1:30

No	Nama	Ukuran
1	Length Over All	0,5 m
2	Length of Waterline	0,439 m
3	Length of Perpendicular	0,442 m
4	Breadth	0,124 m
5	Draft	0,024 m
7	Depth	0,071 m
8	Displacement	0,519 Kg



Gambar 3. Gambar *Lines Plan* kapal *Pilot Boat* 15 m ALU

3.2. Tinggi *Step* pada *Twin Stephull*

Kapal modifikasi dengan *twin stephull*, memerlukan tinggi kenaikan untuk *step* tersebut. Penelitian ini menggunakan kenaikan setinggi 16% dan 32% setinggi sarat diukur dari baseline. Sarat kapal pilot boat ini yaitu 0,72 meter, jadi tinggi kenaikannya sebesar 0,1152 m dan 0,2304 m dari baseline.

3.3. Variasi Model

Pada analisa ini, hambatan dan gaya angkat dianalisa dari 4 kecepatan, yaitu 22, 24, 26, dan 28 knot.

Tabel 3. Variasi Kecepatan Kapal

Fn	v	
	m/s	knot
0,99	11,32	22
1,08	12,346	24
1,17	13,374	26
1,26	14,403	28

Selain itu, model ini juga divariasikan berdasarkan letaknya pada frame kapal:

Tabel 4. Variasi Model

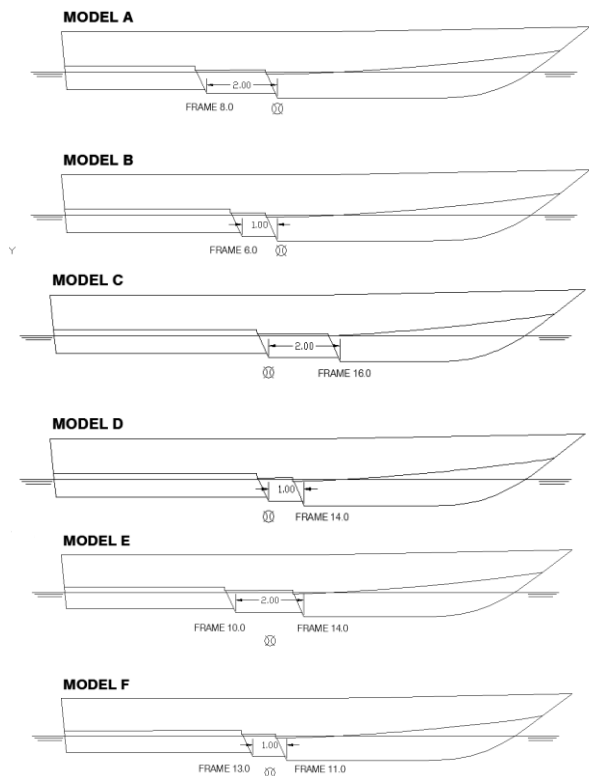
Model	Variasi Posisi	
	Step 1	Step 2
A	Midship (Fr 12)	Frame 8
B	Midship (Fr 12)	Frame 10
C	Frame 16	Midship (Fr 12)
D	Frame 14	Midship (Fr 12)
E	Frame 14	Frame 10
F	Frame 13	Frame 11

Dengan variasi posisi tersebut, menimbulkan variasi panjang *step* yang menghasilkan perbedaan luasan area tercelup pada masing-masing model. Berikut adalah panjang *step* hasil modifikasi :

Tabel 5. Ukuran *Twin stephull*

Model	Panjang <i>step</i> (m)	
	Step 1	Step 2
A	2	4
B	1	5
C	2	6
D	1	6
E	2	5
F	1	5,5

Berikut adalah gambaran variasi modifikasi *stephull* yang akan dianalisa :

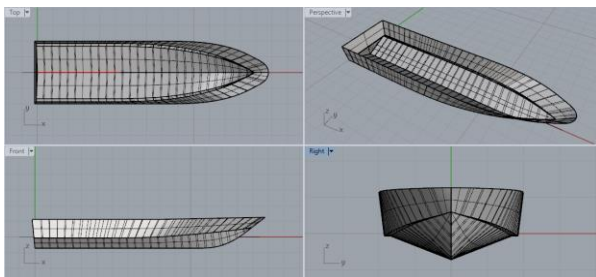


Gambar 4. Variasi Modifikasi *Stephull*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Desain Model Kapal

Dari data pada metodologi dibuat pemodelan badan kapal dengan bantuan *software Rhinoceros v 5.0*:

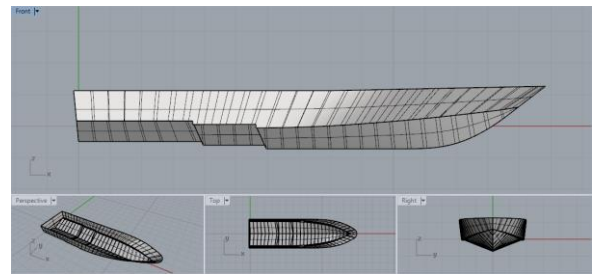


Gambar 5. Pembuatan model original

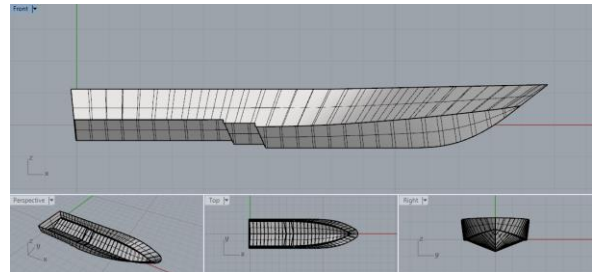
Hasil pemodelan terlebih dahulu diskala 1 : 30 lalu di *ekspor* kedalam bentuk *file .iges* kemudian dibuka di *software CFD Tdyn 12.2.3*

4.2. Variasi *Twin Stephull*

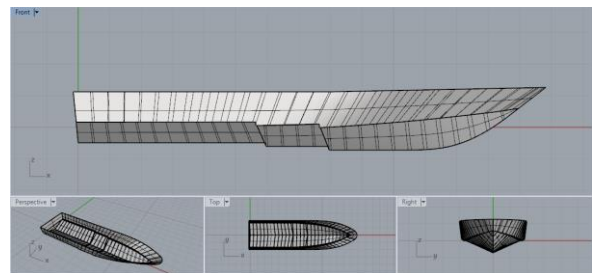
Sesuai dengan metodologi penelitian maka model modifikasi variasi nya adalah sebagai berikut :



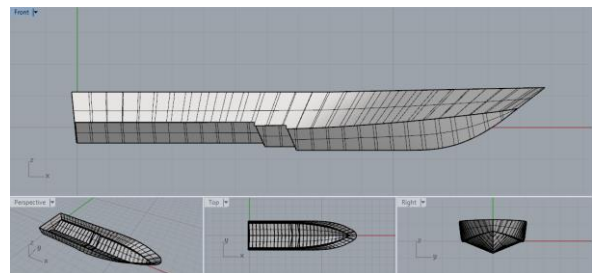
Gambar 6. Variasi Model A



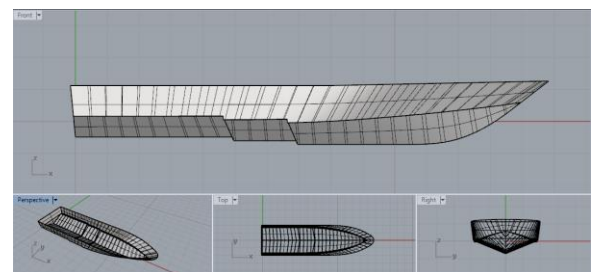
Gambar 7. Variasi Model B



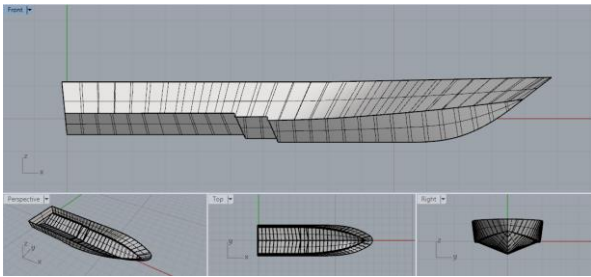
Gambar 8. Variasi Model C



Gambar 9. Variasi Model D



Gambar 10. Variasi Model E



Gambar 11. Variasi Model F

4.3. Simulasi *Computational Fluid Dynamics*

Software CFD yang digunakan adalah *Tdyn* versi 12.2.3. Proses simulasi numerik pada *Computational Fluid Dynamic* dimulai dari pembuatan model badan kapal dalam bentuk *file .Iges* yang berasal dari *file export* program *Rhinoceros v 5.0*. Kemudian tahap selanjutnya adalah pembuatan *boundary layer* dengan ukuran pada sumbu x pada bagian belakang kapal berukuran 3xL dan di depan kapal berukuran 2xL. Untuk sumbu y masing-masing berukuran 1xL pada *Starboard* dan *Portside*. Sedang sumbu z berukuran 2xL.

Pada dasarnya sama dengan jenis *software* lain yang berbasis *CFD*. Tahap analisisnya secara umum dibagi menjadi 3 yaitu:

- a. *Pre-processor*
- b. *Solver Manager*
- c. *Post-processor*

4.3.1. Tahap *Pre-processor*

Tahap *Preprocessor* pada *software Tdyn 12.2.3*. ini dibagi menjadi 4 tahap yaitu *Materials and Properties*, *Initial Condition Data*, *Modules data* dan *Meshing data*.

1. *Materials and Properties*

Pada tahap ini kita harus mengisi criteria fluida yang akan dianalisis. Sebelum mengatur criteria fluida, sebelumnya kita harus membuat volume di sekitar *boundarylayer* sebagai fluida. Kemudian atur fluida berdasar batasan masalah yaitu kondisi air tenang, *steady state*, dan dekompresi, maka kita mengisi massa jenis air 1025 kg/m³ dan kekentalan jenis 0,001025 kg/m.s.

2. *Initial Condition Data*

Pada tahap ini kita harus mengatur domain daerah *boundary layer*. Tahap-tahapnya antara lain :

- ❖ pengaturan *freesurface* diatur berada pada daerah permukaan air. Kemudian atur *time integration* dengan *Adam Basforth 2* dan atur panjang kapal.
- ❖ pengaturan *wall*, *inlet* dan *bottom surface* pada menu *fluid flow* dan sub menu *velocity field*.

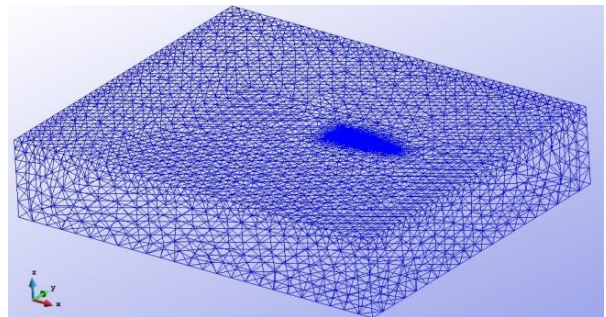
- ❖ pengaturan outlet pada submenu pada menu *fluid flow* dan sub menu *pressure field*.
- ❖ pengaturan badan kapal pada menu *fluid flow* dan sub menu *wall/bodies*.
- ❖ pengaturan kecepatan kapal pada menu *initial and condition data* dan submenu *initial and field data*. Input besarnya kecepatan pada sumbu x.

3. *Modules Data*

Pada tahap ini kita akan mengatur jenis aliran fluida dengan menanganter pada menu *fluid flow* dan submenu *turbulence*, atur model *turbulence K_Omega_SST*.

4. *Meshing Data*

Setelah pengaturan *boundary layer* dan fluida selesai kemudian dilanjutkan dengan *meshing* komponen. Tahapnya yaitu, pilih menu *mesh* pada menu bar, pilih *unstructured* pilih *surface* seluruh komponen layer. Kemudian akan muncul ukuran mesh yang ingin kita gunakan. Ukuran yang digunakan yaitu 0,003 untuk daerah kapal, 0,05 untuk *freesurface*, 0,1 untuk seluruh komponen sisa.



Gambar 12. Meshing Boundary

4.3.2. Tahap *Solver Manager*

Tahap *Solver Manager* ini dapat dilakukan setelah tahap *Pre Processor* selesai dilakukan. Dalam tahap ini proses perhitungan (running) dilakukan berupa iterasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD. Setupnya pada menu *Fluids Dynamic Data > analysis* kemudian diisi iterasi sebanyak 800 untuk semua kecepatan, serta initial stepsnya 50. Kemudian untuk hasilnya *Fluids Dynamic Data > result* atur output step ke 50 dan result file pada *Binary 1*.

4.3.3. Tahap *Post Processor*

Setelah proses *running* atau simulasi selesai maka hasilnya dapat kita lihat di *window traditional post* pada menu *post proses*. Pada penelitian ini hasil yang diinginkan berupa nilai hambatan kapal (*force*). Pada window ini juga bisa melihat model dan visualisasi aliran berupa 2

dimensi ataupun 3 dimensi, serta dapat menampilkan data *table* maupun *analysis frame* untuk melihat pergerakan fluida.

4.4. Perhitungan Hambatan Kapal

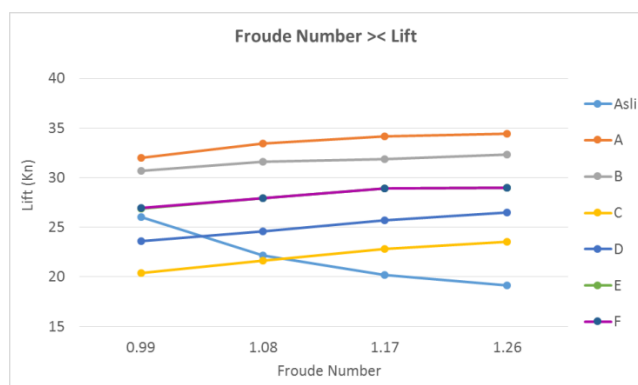
Untuk mendapatkan hasil hambatan modifikasi *stephull*, diperlukan dua kali tahap *running*, tahap *running* yang pertama digunakan untuk memperoleh hasil gaya angkat dan momen trim, setelah itu tahap *running* kedua dilakukan pada saat posisi kapal sudah terangkat dan trim sesuai dengan perhitungan. Perhitungan hambatan kapal dengan metode *Computational Fluid Dynamic* pada *post processor* (hasil *running*) diambil dari tahap *results*. Kemudian dari data tersebut kita olah sehingga menjadi data matang.

Tabel 6. Hasil lift tiap Froude Number

Fn	Lift (kN)						
	Asli	A	B	C	D	E	F
0.99	26.01	31.98	30.67	20.40	23.63	26.91	26.96
1.08	22.17	33.41	31.59	21.64	24.61	27.90	27.91
1.17	20.20	34.15	31.90	22.79	25.68	28.89	28.92
1.26	19.17	34.42	32.31	23.53	26.46	28.98	28.99

Tabel 7. Hasil Trim Moment tiap Froude number

Fn	Trim Moment						
	Asli	A	B	C	D	E	F
0.99	0.817	0.511	0.499	0.481	0.490	0.491	0.492
1.08	0.842	0.498	0.491	0.470	0.481	0.483	0.483
1.17	0.852	0.490	0.485	0.464	0.474	0.477	0.478
1.26	0.858	0.485	0.481	0.460	0.470	0.473	0.473



Gambar 13. Lift model variasi twin stephull pada setiap Froude Number

Dari tabel dan grafik diatas, nilai lift menggunakan CFD variasi modifikasi *twin stephull*, nilai lift tertinggi adalah variasi model "A" dengan nilai 34,42 kN, nilai ini terjadi pada Froude Number 1,26. Sedangkan di Froude Number yang sama, nilai lift terkecil yaitu pada variasi model "C" dengan nilai 23,53 kN.

Data lift dan trim moment kemudian diolah dengan persamaan (5), kemudian didapatkan nilai

heave dan trim semua model pada tiap Froude Number. Berikut adalah tabel hasil perhitungan heave dan trim pada tiap model :

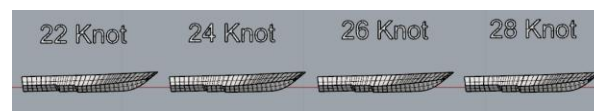
Tabel 8. Hasil Heave tiap Froude Number

Fn	Heave (cm)						
	Asli	A	B	C	D	E	F
0.99	6.863	10.54	10.52	7.17	8.35	9.33	9.40
1.08	5.844	11.08	10.87	7.67	8.75	9.37	9.77
1.17	5.321	11.36	10.99	8.15	9.18	10.11	10.17
1.26	5.048	11.46	11.14	8.45	9.49	10.14	10.20

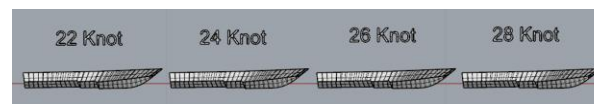
Tabel 9. Hasil Trim tiap Froude Number

Fn	Trim (deg)						
	Asli	A	B	C	D	E	F
0.99	0.786	0.696	0.682	0.677	0.677	0.680	0.682
1.08	0.809	0.679	0.672	0.661	0.664	0.667	0.670
1.17	0.820	0.669	0.663	0.653	0.655	0.659	0.663
1.26	0.826	0.662	0.657	0.647	0.649	0.653	0.656

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai heave dan trim berbanding lurus dengan nilai lift dan trim moment pada tabel 5 dan 6. Nilai heave dan trim terbesar terjadi pada variasi model "A", sedangkan nilai terkecilnya terjadi pada variasi model "C".



Gambar 14. Equilibrium variasi model A



Gambar 15. Equilibrium variasi model C

Dengan adanya perubahan bentuk lambung yang diakibatkan oleh penggunaan *twin stephull* dan adanya pengaruh gaya angkat, maka angka *displacement* kapal juga mengalami perubahan. Berikut adalah besarnya nilai *displacement* setelah kapal mengalami modifikasi :

Tabel 10. Nilai Displacement tiap Froude Number

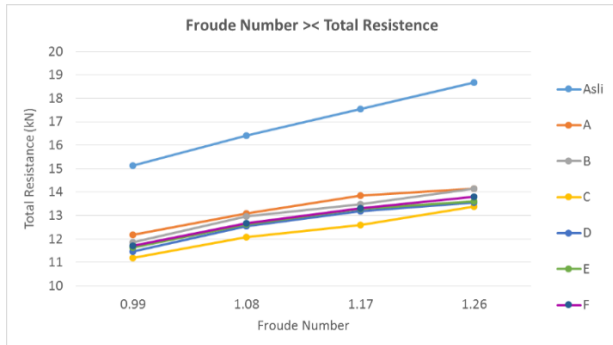
Fn	Displacement (Ton)						
	Asli	A	B	C	D	E	F
0.99	11.37	7.100	6.869	6.809	6.815	6.858	6.861
1.08	11.76	6.954	6.775	6.682	6.715	6.758	6.764
1.17	11.96	6.879	6.743	6.565	6.607	6.657	6.661
1.26	12.07	6.852	6.702	6.490	6.527	6.648	6.654

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai *displacement* terbesar terdapat pada variasi model A sedangkan *displacement* terkecil terdapat pada model variasi C. Besar kecilnya *displacement* tentu berpengaruh pada besar hambatan kapal.

Berikut adalah hasil dari hambatan total tiap-tiap model variasi :

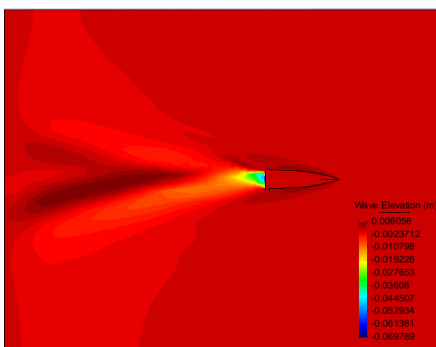
Tabel 11. Hambatan total tiap *Froude Number*

Fn	Hambatan Total (m)						
	Asli	A	B	C	D	E	F
0.99	15.14	12.19	11.87	11.19	11.46	11.63	11.70
1.08	16.40	13.09	12.96	12.08	12.54	12.62	12.68
1.17	17.53	13.86	13.48	12.59	13.19	13.30	13.30
1.26	18.68	14.15	14.15	13.38	13.57	13.61	13.80

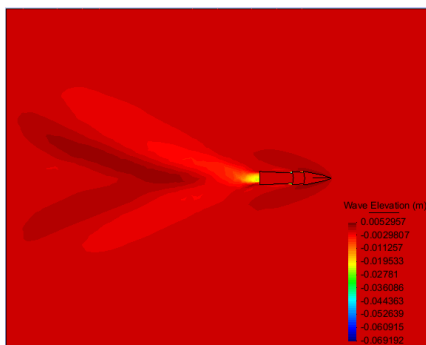


Gambar 16. Hambatan total kapal model pada setiap *Froude Number*

Berdasarkan tabel dan grafik diatas, nilai hambatan menggunakan CFD dari variasi model *twin stephull* dari A – E, nilai hambatan total dapat diperkecil hingga 28,39% dari hambatan *Original*, nilai ini terjadi pada *Froude Number* 1,26 pada model variasi “C”.

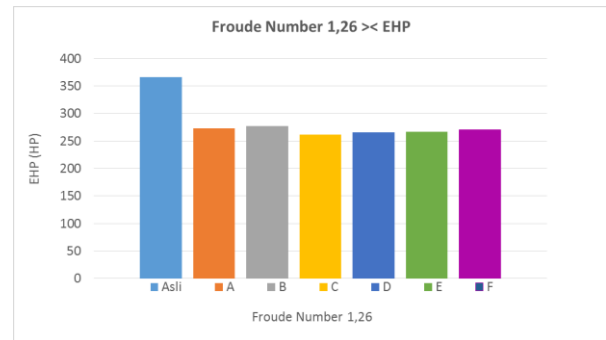


Gambar 17. *Contour fill (wave elevation)* model Asli pada *Froude number* 1,26



Gambar 18. *Contour fill (wave elevation)* model Variasi C pada *Froude number* 1,26

Berbanding lurus dengan nilai hambatannya, nilai EHP juga memiliki persentase penurunan terbesar pada model C dengan *Froude number* tertinggi. Berikut adalah grafik dari perhitungan EHP kapal pada *Froude number* 1,26:



Gambar 18. EHP masing-masing model pada *Froude Number* 1,26

Dapat dilihat dari grafik diatas, untuk mencapai kecepatan 28 knot, kapal *Original* membutuhkan EHP sebesar 365,856 hp, sedangkan, kapal dengan modifikasi *twin stephull* variasi model C hanya membutuhkan 261,985 hp yang mana lebih menghemat 28,39% EHP dibanding kapal original.

Dengan melihat hasil perhitungan diatas, dapat kita ketahui bahwa kapal dengan modifikasi *twin stephull* dapat mengurangi nilai hambatan totalnya, namun sekaligus mengurangi *displacement* yang menyebabkan berkurangnya daya tampung kapal. Untuk menentukan model paling optimum dari ke enam model yang ada, maka diperlukan perbandingan antara hambatan total per displamen ($RT/\Delta.g$) dengan nilai terkecil. Berikut adalah tabel perbandingannya :

Tabel 12. Rasio hambatan total per *displacement*

Fn	RT / $\Delta.g$					
	A	B	C	D	E	F
0.99	0.175	0.176	0.167	0.171	0.173	0.174
1.08	0.192	0.195	0.184	0.190	0.190	0.191
1.17	0.205	0.204	0.195	0.204	0.204	0.204
1.26	0.211	0.215	0.210	0.212	0.209	0.211

Dari tabel diatas, dapat kita ketahui bahwa untuk *Froude number* 0,99 – 1,17 model dengan rasio hambatannya per displamen terkecil adalah model C, sedangkan untuk Fn tertinggi model dengan rasio terkecil adalah model E.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari ke-enam variasi model tersebut, dapat diketahui bahwa nilai *lift* akan semakin

bertambah disetiap penambahan kecepatan. Nilai *lift* tertinggi terjadi pada variasi model A yaitu sebesar 31,98 kN – 34,42 kN, sedangkan nilai *lift* terendah terjadi pada variasi model C yaitu sebesar 20,4 kN – 24,54 kN.

2. *Displacement* kapal variasi semakin berkurang disetiap penambahan kecepatan. Persentase penurunan *displacement* terkecil terdapat pada variasi model A dengan *froude number* 0,99 yaitu sebesar 37,5%, sedangkan pada *froude number* yang sama, penurunan *displacement* terbesar terdapat pada model variasi C sebesar 40,1%.
3. Nilai hambatan total bertambah disetiap penambahan kecepatan. Persentase penurunan hambatan terbesar terjadi pada variasi model C dengan *froude number* 1,26 sebesar 28,39%.
4. *Effective Horse Power (EHP)* setiap model berbanding lurus dengan nilai hambatannya, semakin bertambahnya kecepatan, maka semakin besar EHP-nya dengan persentase yang sama. EHP terkecil dihasilkan oleh model C sebesar 261,985 hp.
5. Variasi paling optimal pada model bisa dilihat melalui rasio perbandingan hambatan per displamen ($RT/\Delta.g$) dengan nilai terkecil. Untuk F_n 0,99 - 1,17 model *stephull* terbaik adalah model C, sedangkan untuk F_n 1,26 model terbaik adalah E.

Architecture and Marine Engineering
University of Michiga.

- [7] Savitsky Daniel, Morabito Michael. 2009. *Surface Wave Contours Associated with the Forebody Wake of Stepped Planing Hulls*. Meeting of the New York Metropolitan Section of the Society of Naval Architects and MarineEngineers.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Faltinsen, Odd M. 2005. *Hydrodynamic of High-Speed Marine Vehicle*. New York: Cambride University Press.
- [2] Savitsky Daniel, Ward Brown P. 1976. *Procedures for Hydrodynamis Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water*. Marine Technology, Vol 13 No.4
- [3] Savitsky Daniel. 1964. *Hydrodinamic Design of Planing Hulls*. Marine Technology, Vol 1, No.1
- [4] M. Salas, R.Luco, P.K Sahoo, etc. 2015 *Experimental and CFD Resistance Calculation of a Small Fast Catamaran*.
- [5] Rameswar Bhattacharyya. 1978. *Dynamics of Marine Vehicles*. New York : John Wiley & Sons.
- [6] Barnaby K.C. *Schoenherr Friction Coefficients (Smooth Surface Turbulent Flow)*. Michigan : Department of Naval