



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Hambatan dan Gaya Angkat dari Modifikasi Stephull dengan Variasi Sudut pada Kapal Pilot Boat 15 Meter ALU Menggunakan Metode CFD

Citra Eka Febrian¹⁾, Deddy Chrismianto¹⁾, Good Rindo¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: citraekaf@gmail.com

Abstrak

Kapal berkecepatan tinggi merupakan jenis kapal yang paling banyak digunakan di berbagai kebutuhan seperti untuk keperluan balap, aplikasi militer, bahkan untuk rekreasi di bidang pariwisata. Peningkatan permintaan untuk kendaraan laut berkecepatan tinggi telah menyebabkan perkembangan beberapa desain bentuk lambung yang canggih untuk meningkatkan performa kecepatan dan efisiensi penggunaan. Oleh karena itu modifikasi bentuk lambung kapal cepat telah meningkat beberapa tahun terakhir. *Stephull* merupakan modifikasi bentuk lambung berupa *step* melintang yang ditempatkan pada bawah lambung bagian *midship* kapal. Aplikasi penggunaan *stephull* dapat menurunkan sudut *trim* sehingga stabilitas kapal lebih stabil, meningkatkan kinerja hidrodinamik, dan memperkecil luas permukaan basah sehingga bisa mengurangi hambatan yang dihasilkan. Pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan optimasi hambatan terhadap variasi bentuk *stephull* dalam sudut. 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 hambatan total kapal menggunakan model. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software Tdyn 12.2.3.0* didapatkan nilai gaya angkat dan hambatan untuk berbagai variasi bentuk *stephull*. Nilai hambatan total dapat diperkecil hingga 16,96%, nilai ini terjadi pada bentuk *stephull* sudut 180° pada variasi kecepatan 26 knot.

Kata Kunci : *stephull*, *monohull*, *planing hull*, gaya angkat, hambatan, CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini kapal berkecepatan tinggi banyak digunakan diberbagai kebutuhan. Karakter kecepatan tinggi ini telah membuatnya menjadi populer untuk kepentingan pemerintahan, aplikasi militer, pariwisata, rekreasi maupun balap. Peningkatan permintaan untuk kendaraan laut berkecepatan tinggi telah menyebabkan perkembangan beberapa bentuk desain lambung yang canggih, misalnya kapal *planing hull* yang biasa digunakan untuk transportasi air berkecepatan tinggi. Banyak penelitian tentang kapal *planing hull*, salah satu nya yaitu 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, seiring dengan meningkatnya modifikasi kapal cepat, meningkat pula resistensi yang disebabkan oleh gelombang yang signifikan, sehingga pembuatan kapal membutuhkan kritisasi efektifitas yang tinggi. Desain dan analisis prosedur diperlukan untuk kapal berkecepatan tinggi dikarenakan kinerja dan karakter kecepatan tinggi menjadi sangat penting di beberapa kebutuhan. Oleh karena itu, diperlukan untuk

membuat strategi perancangan bentuk lambung dalam rangka mengurangi hambatan kapal.

Pada kapal *planing hull* akan lebih baik jika ada penambahan step melintang atau disebut *stephull* yang dapat menurunkan sudut *trim* sehingga stabilitas kapal lebih stabil, meningkatkan kinerja hidrodinamik, dan memperkecil luas permukaan basah sehingga bisa mengurangi hambatan yang dihasilkan. Pada penelitian ini akan di bahas tentang strategi perancangan kapal cepat agar lebih optimal dengan modifikasi *stephull* yaitu dengan bentuk *stephull* dengan sudut 180° , 150° , 120° , dan 90° yang akan divariasikan kecepatannya, 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. Bagaimana modifikasi lambung menggunakan *stephull* ?
2. Berapakah gaya angkat dan hambatan total dari kapal variasi modifikasi *stephull* ?
3. Seberapa besar efektifitas modifikasi *stephull* pada kapal cepat ?

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 $1 \geq Fn \leq 1,2$.
5. Variasi modifikasi bentuk *stephull* dengan sudut 90° , 120° , 150° , dan 180°
6. Modifikasi *stephull* yang dikaji hanya terbatas pada analisa hambatan dan gaya angkat.
7. Hanya membandingkan desain yang ada.
8. Tinggi *stephull* yang dipakai yaitu 16% sarat dari *baseline* sesuai dengan yang diteliti pada penelitian sebelumnya.

9. Penempatan *stephull* bertumpu pada *midship* kapal sesuai dengan yang diteliti penelitian sebelumnya.
10. Sudut *stephull* yang diukur yaitu sudut yang menghadap ke buritan kapal yang mengapit *keel*.

1.4. Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui nilai gaya angkat dari modifikasi *stephull*, manakah model yang memiliki gaya angkat paling besar dan yang terkecil.
2. Mengetahui hasil hambatan modifikasi *stephull* manakah yang memiliki hambatan paling rendah dan persentase penurunan dari kapal original.
3. Mendapatkan hasil analisa dari karakteristik penggunaan modifikasi *stephull* pada kapal *planing*.
4. Mendapatkan hasil analisa bentuk *stephull* yang paling optimal.

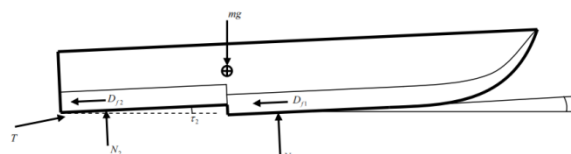
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum *Stephull*

Pada dasarnya, ada 3 tipe lambung kapal, yaitu: displasemen, semi-displasemen, dan *planing hull*. Kapal *planing hull* tidak seperti dua tipe lambung kapal yang lainnya karena kinerja gaya hidrodinamik lebih besar dibanding gaya hidrostatiknya. [1]

Pada kapal *planing hull* akan lebih optimal kinerjanya jika ada tambahan modifikasi pada bagian lambung bawahnya yaitu *stephull*.

Stephull atau transvers step atau step *planing hull* atau *planing stepped hull* merupakan modifikasi pada bagian bawah lambung kapal berupa step melintang atau jika dilihat bangunan kapal dari samping, bentuk kapal seperti terpotong bagian bawahnya.



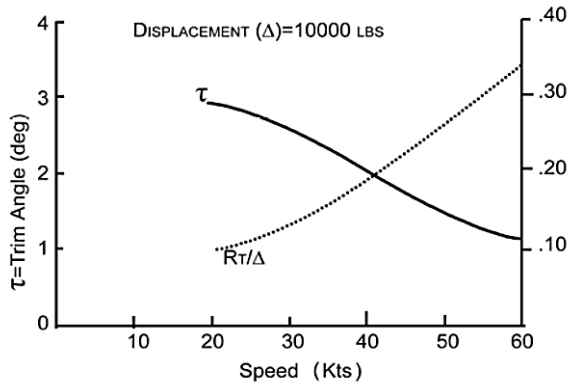
Gambar 1. Visualisasi *stephull*



Gambar 2. Kapal *planing* dengan step melintang

2.2. Teori Stephull

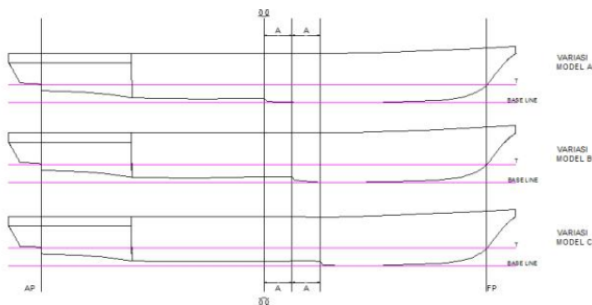
Pada kapal cepat dengan modifikasi *stephull*, sudut *trim* dari kapal *monohull planing* akan berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan dan rasio hambatan/displasemen akan bertambah seiring dengan meningkatnya kecepatan.



Gambar 3. Perhitungan perbandingan antara sudut trim, R_T/Δ , dan kecepatan

2.3. Peletakan Modifikasi Stephull

Dari hasil jurnal tentang analisa posisi *stephull*, posisi yang paling optimal adalah terletak pada bagian *midship* kapal karena memiliki nilai hambatan yang lebih rendah dibandingkan dengan posisi *stephull* yang berada 2-4 frame di depan *midship* kapal atau yang lebih ke arah haluan.



Gambar 4. Posisi *stephull* di *midship* lebih optimal dibanding dengan posisi yang lebih ke haluan

2.4. 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 komponen gesek (*the friction component*). 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 : [3]

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

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 $\times 10^5$	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	4.934	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 5. Tabel perhitungan *friction coefficients* Schoenherr

Rumus diatas merupakan pecahan dari persamaan rumus bilangan Reynold. [8]

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

Dimana,

R_n = bilangan reynold

V = kecepatan kapal (m/s)

b = lebar *chain* (m)

ν = viskositas air laut

= $1,18 \times 10^{-6}$ (m²/s)

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

Dari persamaan-persamaan diatas, *savitsky* menyimpulkan hasil dari total drag yaitu : [3]

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

Jadi hambatan total dihitung dengan persamaan : [2]

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

2.5. 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)

2.6. 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

2.7. Nilai Lift Force Pada Kapal

Pada sumbu Z kapal terdapat beberapa gaya diantaranya yaitu : *pressure force*, *static pressure force*, dan *viscous force*. Dari semua gaya tersebut didapat nilai keseluruhan yaitu total *force* atau F_z . Nilai F_z ini yang akan dipakai untuk mencari gaya angkat atau *lift* kapal. Berikut persamaannya:

$$F_L = F_z - B \quad (8)$$

Dimana,

F_L = gaya angkat kapal (N)

F_z = nilai gaya total di sumbu Z kapal (N)

B = bouyancy kapal (Kg)

Sedangkan nilai *bouyancy* dapat dihitung dengan persamaan :

$$B = \Delta \cdot g \quad (9)$$

Dimana,

Δ = *displacement* kapal (ton)

g = gaya gravitasi 9,81 m/s

$$C_{L\beta} = \frac{F_{L\beta}}{0,5 \rho v^2 B^2} \quad (10)$$

Dimana,

$F_{L\beta}$: gaya angkat (N)

ρ : massa jenis air fluida

U^2 : kecepatan kapal (m/s)

B^2 : lebar chain kapal (m)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Ukuran Utama Kapal

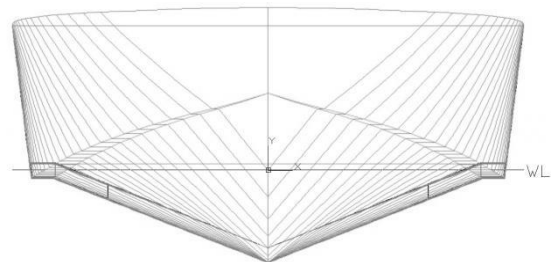
Ukuran utama kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

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

3.2. Tinggi Step Pada Stephull

Kapal modifikasi dengan *stephull*, memerlukan tinggi kenaikan untuk *step* tersebut. Penelitian ini menggunakan kenaikan setinggi 16% sarat dari *baseline*. Sarat kapal Pilot Boat ini yaitu 0,72 meter, jadi tinggi kenaikannya sebesar 0,1152 meter dari *baseline*.



Gambar 6. Tabel Perhitungan *Friction Coefficiens* Schoenherr

3.3. Variasi Model

Pada analisa ini, hambatan dan gaya angkat lambung dengan modifikasi *stephull* dianalisa pada kecepatan 24, 26, dan 28 knot.

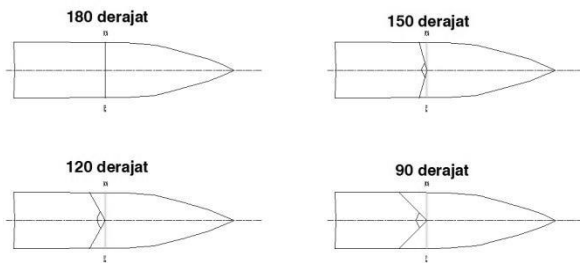
Tabel 2. Variasi Kecepatan Kapal

Fn	v	
	m/s	knot
1,08	12,346	24
1,17	13,374	26
1,26	14,403	28

Selain itu, model ini juga divariasikan posisi sebagai berikut :

Model	Modifikasi
1	180 ⁰
2	150 ⁰
3	120 ⁰
4	90 ⁰

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

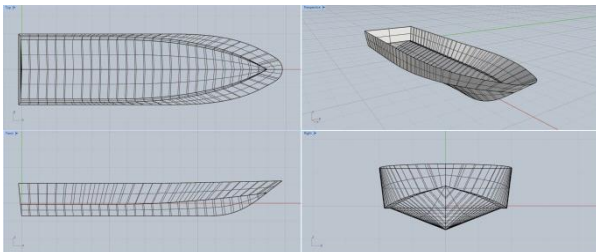


Gambar 7. Variasi Modifikasi *Stephull*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Desain Model Kapal

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

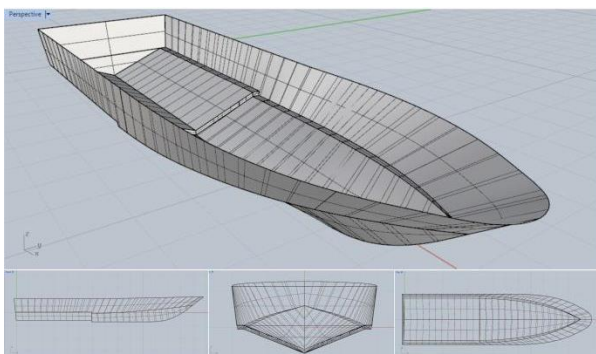


Gambar 8. Pembuatan model *original*

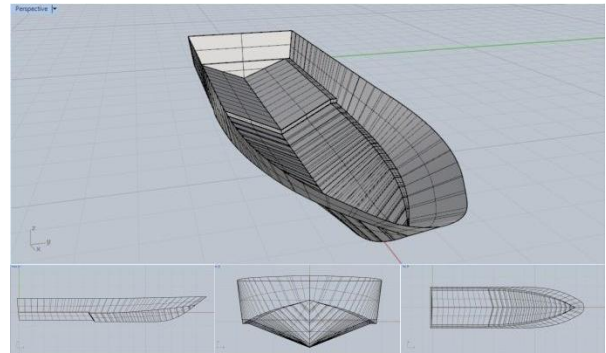
Hasil pemodelan terlebih dahulu diskala 1 : 30 lalu di *ekspor* kedalam bentuk *file .iges* kemudian dibuka di *software* CFD *Tdyn* 12.2.3.

4.2. Variasi Modifikasi *Stephull*

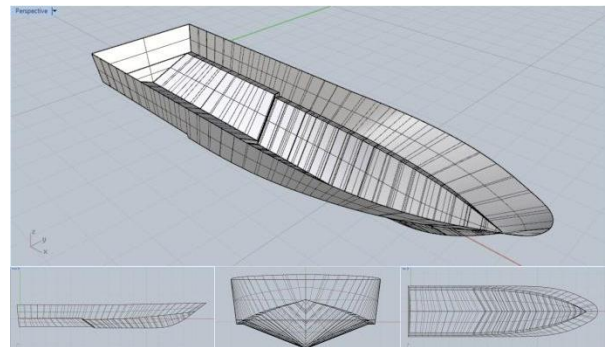
Sesuai dengan metodologi penelitian maka model modifikasi variasi nya adalah sebagai berikut :



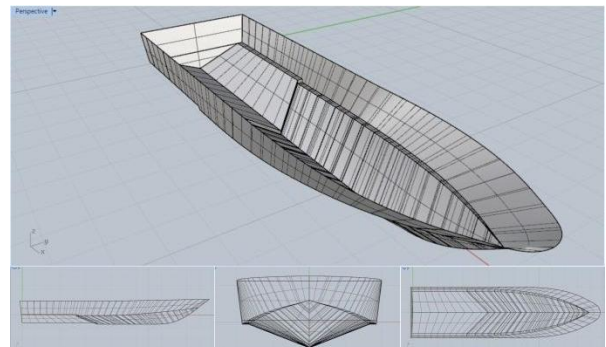
Gambar 9. Model modifikasi 180⁰



Gambar 10. Model modifikasi 150⁰



Gambar 11. Model modifikasi 120⁰



Gambar 12. Model modifikasi 90⁰

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 *Computational FluidDynamic*. Tahap analisisnya secara umum dibagi menjadi 3 yaitu:

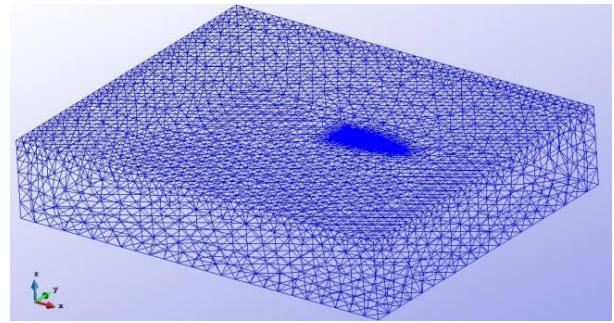
a. *Pre-processor*

- 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/m^3 dan kekentalan jenis $0,001025 \text{ kg/m.s.}$
2. *Initial Condition Data*
 Pada tahap ini kita harus mengatur *domain* daerah *boundary layer*. Tahap-tahapnya antara lain :
 - ❖ pengaturan *free surface* 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 mengatur 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 13. *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. *Setup*-nya pada menu *Fluids Dynamic Data > analysis* kemudian diisi iterasi sebanyak 800 untuk semua kecepatan, serta *initial steps*-nya 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 Empiris Hambatan Kapal Original

Perhitungan manual atau empiris menggunakan metode perhitungan *savitsky*. Sebelum menghitung secara empiris, dibutuhkan kapal dalam keadaan trim dengan sudut yang sesuai. Sudut trim dihitung dengan persamaan (6) dimana nilai M_y dari hasil *running software tdyn* dalam keadaan kapal *evenkeel*, yaitu pada hasil *running total moment* pada sumbu Y kapal per F_n menggunakan skala model 1:30 dan nilai I_y dari hasil perhitungan pada persamaan (7), lalu didapat hasil seperti berikut :

Tabel 4. Perhitungan Empiris Kapal Original F_n 1,08

No	Quantity	Source	Value
1	τ	Persamaan (6)	0,9336
2	C_v		2,0439
3	$C_{L\beta}$		0,0129
4	$\tau^{1.1}$		0,9272193
5	CL_o	Figure 11 [3]	0,028

6	$CL_o/\tau^{1.1}$	No (5) / (4)	0,0301978
7	λ	Figure 10 [3]	2,35
8	Vm	Figure 14 [3]	2,2539879
9	Re	$Vm.\lambda.b / v$	552583,95
10	Cf	Schoenherr [6]	0,004961
11	ΔCf	ATTC Standard Roughnes [6]	0,0004
12	$Cf + \Delta Cf$	No (10) + (11)	0,005361
13	Df	$[\rho(Vm^2)\lambda b^2(Cf + \Delta Cf)] / 2 \cos\beta$	0,0005429
14	$\cos \tau$		0,9998672
15	$\Delta \tan \tau$		8,462E-06
16	$Df / \cos \tau$	No (13) / (14)	0,0005430
17	D	No (14) + (15)	0,0005514

Jadi hambatan total kapal original skala model pada *Froude Number* 1,08 adalah 0,5515 Newton.

Tabel 5. Perhitungan Empiris Kapal Original Fn 1,17

No	Quantity	Source	Value
1	τ	Persamaan (6)	0,955
2	C_v		2,214
3	$C_{L\beta}$		0,011
4	$\tau^{1.1}$		0,95077
5	CL_o	Figure 11 [3]	0,025
6	$CL_o/\tau^{1.1}$	No (5) / (4)	0,0262946
7	λ	Figure 10 [3]	2,1
8	Vm	Figure 14 [3]	2,4418202
9	Re	$Vm.\lambda.b / v$	534948,29
10	Cf	Schoenherr [6]	0,004979
11	ΔCf	ATTC Standard Roughnes [6]	0,0004
12	$Cf + \Delta Cf$	No (10) + (11)	0,005379
13	Df	$[\rho(Vm^2)\lambda b^2(Cf + \Delta Cf)] / 2 \cos\beta$	0,0005713
14	$\cos \tau$		0,9998611
15	$\Delta \tan \tau$		8,657E-06
16	$Df / \cos \tau$	No (13) / (14)	0,0005714
17	D	No (14) + (15)	0,0005801

Jadi hambatan total kapal original skala model pada *Froude Number* 1,08 adalah 0,5801 Newton.

Tabel 6. Perhitungan Empiris Kapal Original Fn 1,26

No	Quantity	Source	Value
1	τ	Persamaan (6)	0,9788
2	C_v		2,3845
3	$C_{L\beta}$		0,0095
4	$\tau^{1.1}$		0,9767762
5	CL_o	Figure 11 [3]	0,023
6	$CL_o/\tau^{1.1}$	No (5) / (4)	0,0235469
7	λ	Figure 10 [3]	1,9

8	Vm	Figure 14 [3]	2.6296525
9	Re	$Vm.\lambda.b / v$	521231.66
10	Cf	Schoenherr [6]	0.005017
11	ΔCf	ATTC Standard Roughnes [6]	0.0004
12	$Cf + \Delta Cf$	No (10) + (11)	0.005417
13	Df	$[\rho(Vm^2)\lambda b^2(Cf + \Delta Cf)] / 2 \cos\beta$	0.0006037
14	$\cos \tau$		0.9998541
15	$\Delta \tan \tau$		8.872E-06
16	$Df / \cos \tau$	No (13) / (14)	0.0006038
17	D	No (14) + (15)	0.0006127

Jadi hambatan total kapal original skala model pada *Froude Number* 1,08 adalah 0,6127 Newton.

4.5. Perhitungan Hambatan Kapal Modifikasi dengan metode CFD

Untuk mendapatkan hasil hambatan modifikasi *stephull*, diperlukan dua kali tahap *running*, tahap *running* yang pertama digunakan untuk memperoleh nilai F_z dan momen *trim*. Nilai gaya angkat atau *lift* dihitung dengan persamaan 8 dari nilai F_z .

Tabel 7. Hasil running pertama kapal model, nilai Momen Trim tiap *Froude Number*

Fn	Momen Trim				
	Asli	180	150	120	90
1,08	0,952	0,761	0,781	0,798	0,810
1,17	0,974	0,702	0,727	0,759	0,780
1,26	0,998	0,631	0,659	0,707	0,757

Tabel 8. Nilai F_z , Bouyancy, dan Lift per model tiap Fn

Fn per model	F_z (N)	Bouyancy (N)	Lift (N)
Kapal Original	1,08	4,4386	5,0939
	1,17	4,5934	5,0939
	1,26	4,6842	5,0939
Model 180	1,08	3,0126	4,2001
	1,17	2,9654	4,2001
	1,26	2,8763	4,2001
Model 150	1,08	3,2190	4,2583
	1,17	3,0914	4,2583
	1,26	2,9587	4,2583
Model 120	1,08	3,4123	4,3273
	1,17	3,2393	4,3273
	1,26	3,0834	4,3273
Model 90	1,08	3,6540	4,4181
	1,17	3,4232	4,4181
	1,26	3,2035	4,4181

Proses running menggunakan *software Tdyn* memerlukan model kapal dengan skala, pada penelitian kali ini menggunakan skala 1:30. Untuk

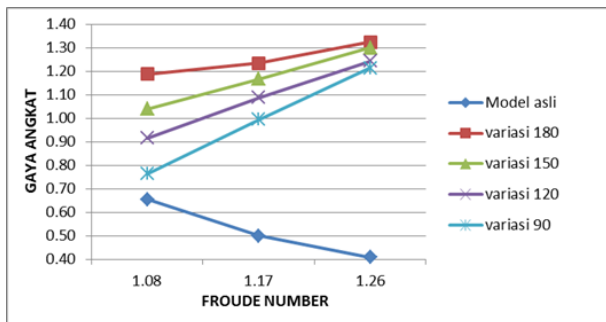
gaya angkat menggunakan skala kapal asli diperlukan koefisien gaya angkat sehingga bisa menghitung gaya angkat dengan skala kapal asli seperti pada persamaan (10).

Tabel 9. Koefisien Gaya Angkat

Fn	CL _β				
	Asli	Model 180	Model 150	Model 120	Model 90
1,08	0,0165	0,029	0,026	0,023	0,019
1,17	0,0107	0,026	0,025	0,023	0,021
1,26	0,0076	0,024	0,024	0,023	0,022

Tabel 10. Nilai Gaya Angkat Skala Kapal Asli

Fn	Lift (kN)				
	Asli	Model 180	Model 150	Model 120	Model 90
1,08	17,78	32,237	28,211	24,838	20,743
1,17	13,58	33,517	31,674	29,534	27,008
1,26	11,12	35,936	35,277	33,766	32,972



Gambar 14. Grafik Lift kapal skala model pada setiap Froude Number

Dari tabel dan grafik diatas, nilai lift menggunakan CFD variasi modifikasi *stephull*, nilai lift tertinggi adalah variasi 180⁰ dengan nilai 35,936 kN, nilai ini terjadi pada Froude Number 1,26. Sedangkan di Froude Number yang sama, nilai lift terkecil yaitu pada modifikasi 90⁰ dengan nilai 32,972 kN.

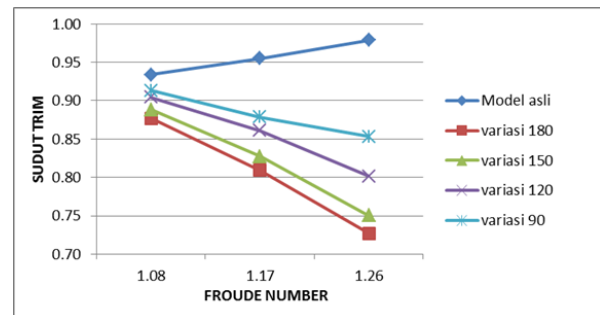
Setelah itu tahap *running* kedua dilakukan pada saat posisi kapal sudah terangkat dan *trim* dengan *trim angle* sesuai dengan perhitungan pada persamaan (6) dan persamaan (7), kemudian didapatkan nilai *heave* dan *trim angle* (τ) semua model pada tiap Froude Number.

Tabel 11. Hasil Heave skala kapal asli tiap Fn

Fn	Heave (m)				
	Asli	180	150	120	90
1,08	4,657	10,014	8,488	7,259	5,948
1,17	3,548	10,454	9,662	8,834	7,834
1,26	2,897	11,285	10,884	10,253	9,805

Tabel 12. Hasil Trim Angle (τ) tiap Froude Number

Fn	Trim Angle (deg)				
	Original	180 ⁰	150 ⁰	120 ⁰	90 ⁰
1,08	0,933	0,876	0,888	0,904	0,913
1,17	0,955	0,809	0,827	0,860	0,878
1,26	0,978	0,726	0,750	0,801	0,853



Gambar 15. Grafik Trim Angle tiap Fn

Dari tabel diatas, nilai trim angle terbesar terjadi pada modifikasi 90⁰ dengan variasi Froude Number 1,08 dengan nilai 0,91⁰.

Kapal Modifikasi memiliki kenaikan atau *heave* dan *trim angle* yang berbeda pada setiap Fn, maka perubahan *displacement* kapal adalah sebagai berikut:

Tabel 13. Perubahan displacement kapal skala model tiap Froude Number

Fn	Displacement (Ton)				
	Asli	180 ⁰	150 ⁰	120 ⁰	90 ⁰
1,08	0,452	0,307	0,328	0,347	0,372
1,17	0,468	0,302	0,315	0,330	0,349
1,26	0,477	0,293	0,301	0,314	0,326

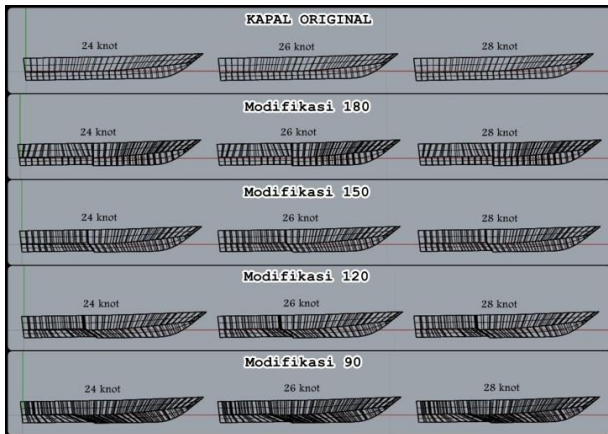
Modifikasi kapal cepat dengan *stephull* ini merupakan modifikasi dengan memangkas sebagian badan kapal, jadi untuk mengetahui efektifitas dari modifikasi *stephull* terhadap kapal original, tidak hanya memerlukan perbandingan hambatan antara kapal original dan modifikasi. Tetapi diperlukan perbandingan antara hambatan total dengan *displacement* seperti keterangan pada gambar 3.

Tabel 14. Perbandingan hambatan total dengan displacement

Fn	RT/Displacement				
	Original	180 ⁰	150 ⁰	120 ⁰	90 ⁰
1,08	4,438	3,012	3,219	3,412	3,654
1,17	4,593	2,965	3,091	3,239	3,423
1,26	4,684	2,876	2,958	3,083	3,203

Tabel 15. Luas area basah skala kapal asli

Fn	Wetted Surface Area (m ²)				
	Asli	180 ⁰	150 ⁰	120 ⁰	90 ⁰
1,08	41,62	33,69	35,05	36,29	38,23
1,17	42,20	33,41	34,28	35,28	36,70
1,26	42,50	32,86	33,48	34,33	35,25



Gambar 16. *Equilibrium* model asli dan modifikasi pada tiap kecepatan

Perhitungan hambatan kapal dengan metode Computational Fluid Dynamic (CFD) pada post processor (hasil running kedua) diambil dari tahap result. Kemudian dari data tersebut kita olah sehingga menjadi data matang.

Tabel 16. Hambatan Total Skala Model

Fn	Hambatan Total (N)				
	Asli	180 ⁰	150 ⁰	120 ⁰	90 ⁰
1,08	0,562	0,469	0,495	0,515	0,522
1,17	0,594	0,493	0,518	0,536	0,545
1,26	0,623	0,532	0,552	0,570	0,590

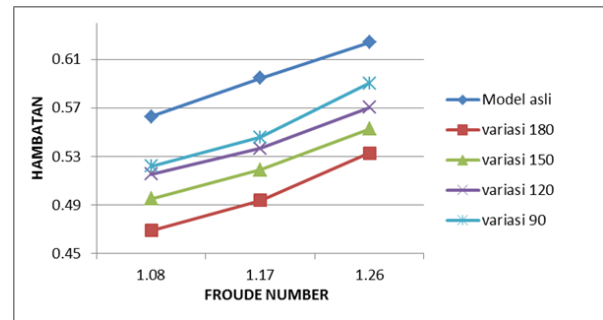
Untuk hasil hambatan dengan skala kapal asli, diperlukan koefisien hambatan total dari persamaan (5).

Tabel 17. Koefisien Hambatan Total

Fn	Cf.λ				
	Asli	Model	Model	Model	Model
		180	150	120	90
1,08	0,013	0,0108	0,0114	0,0119	0,0120
1,17	0,012	0,0097	0,0102	0,0105	0,0107
1,26	0,011	0,0090	0,0094	0,0097	0,0100

Tabel 18. Hambatan total skala kapal asli pada tiap *Froude Number*

Fn	Hambatan Total (kN)				
	Original	180 ⁰	150 ⁰	120 ⁰	90 ⁰
1,08	15,27	12,73	13,44	13,99	14,16
1,17	16,14	13,40	14,08	14,56	14,81
1,26	16,93	14,46	15,00	15,48	16,02



Gambar 17. Grafik Hambatan total kapal model pada setiap *Froude Number*

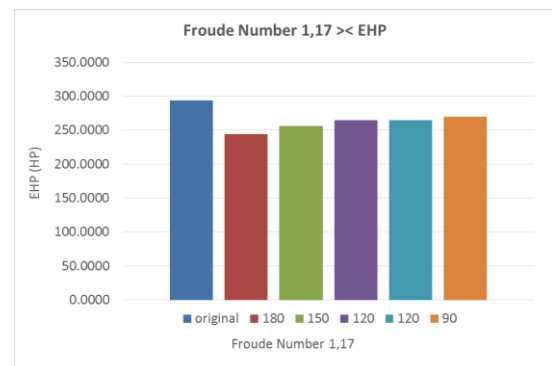
Berdasarkan tabel dan grafik diatas, nilai hambatan menggunakan CFD variasi modifikasi *stephull*, nilai hambatan total dapat diperkecil hingga 16,96% dari hambatan Original, nilai ini terjadi pada Froude Number 1,17 pada model modifikasi 180 .

Menggunakan data tersebut, kita dapat menghitung EHP (Efective Horse Power) masing-masing model. Berikut adalah perhitungan EHP setiap model:

Tabel 19. Nilai Daya Mesin Kapal

Fn	EHP (Hp)				
	Asli	180 ⁰	150 ⁰	120 ⁰	90 ⁰
1,08	256,4	213,8	225,7	234,9	237,8
1,17	293,5	243,8	256,1	264,9	269,4
1,26	331,7	283,2	293,8	303,2	313,8

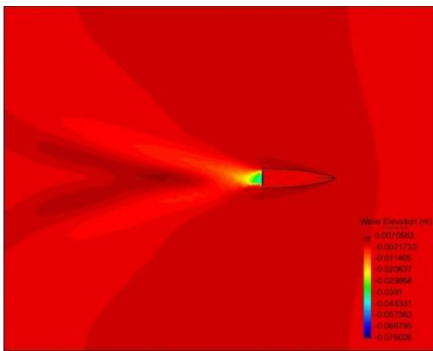
Berbanding lurus dengna nilai hambatannya, nilai EHP juga memiliki persentase penurunan terbesar pada model 180 dengan Froude number 1,17. Berikut adalah grafik dari perhitungan EHP kapal pada Froude number 1,17.



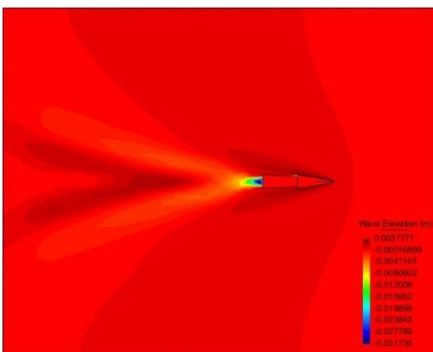
Gambar 18. Grafik Kebutuhan Daya Mesin Kapal

Dapat dilihat dari grafik diatas, untuk mencapai kecepatan 26 knot atau pada Fn 1,17 kapal original membutuhkan EHP sebesar 293,54 Hp, sedangkan kapal dengan modifikasi *stephull* variasi model 180 hanya membutuhkan 243,75 hp

yang mana lebih menghemat 16,96% EHP dibanding kapal original.



Gambar 19. *Contour Fill Model Original Pada Froude Number 1,17*



Gambar 20. *Contour Fill Model Modifikasi 180° Pada Froude Number 1,17*

5. KESIMPULAN

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

1. Dari keempat variasi model tersebut, terlihat nilai lift terbesar adalah modifikasi 180 yaitu sebesar 35,744 kN dalam skala kapal asli, sedangkan nilai lift terendah terjadi pada modifikasi 90 yaitu sebesar 20,632 kN dalam skala kapal asli.
2. Nilai hambatan total paling rendah terjadi pada modifikasi 180 yaitu sebesar 12,7369 kN yaitu terjadi penurunan sebesar 16,96% dari kapal Original.
3. Kapal planing dengan modifikasi stephull mempunyai karakteristik sebagai berikut:
 - a. Memiliki gaya angkat yang lebih kecil dibanding kapal planing yang tidak menggunakan stephull.
 - b. Seiring bertambahnya kecepatan, kapal planing dengan modifikasi stephull memiliki sudut trim yang semakin kecil, tetapi menyebabkan besarnya hambatan total karena luas badan kapal yang tercelup air menjadi lebih besar.

- c. Memiliki sudut trim yang lebih kecil seiring dengan kecepatan menyebabkan semakin stabilnya kapal saat melaju dengan kecepatan tinggi.
 - d. Semakin besar perubahan displacement tiap froude number, maka akan semakin kecil gaya angkatnya.
 - e. Semakin bertambah kecepatan kapal, semakin kecil displacement nya.
4. Jadi dari hasil dari analisa yang sudah dibahas, bentuk stephull yang paling optimal adalah stephull dengan step melintang yang lurus atau sudut *stephull* 180°.

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 Architecture and Marine Engineering University of Michiga.
- [7] Misbahuddin. 2010. *Analisa Optimasi Posisi Step Hull Pada Kapal Patroli Frp 36 Meter Dengan Menggunakan Cfd Analisis*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya
- [8] Endro W, Dimas. 2014. *High Speed Ship Total Resistance Calculation (An Empirical Study)*. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya : Surabaya
- [9] Svahn, David. 2009. *Performance Prediction of Hulls with Transverse Steps*. Marina System Centre for Naval Architecture.
- [10] Savitsky, Daniel .,Morabito, Michael. 2009. *Surface Wave Contours Associated with the Forebody Wake of Stepped Planing Hulls*.