

Analisa Hambatan dan *Pitching Moment Equilibrium* Pada Kapal *Planing* Jenis *Monohull With Transverse Step* Pada Perairan *Calm Water*

Pradipta Rahman Hakim, dan IKAP Utama

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

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

Abstrak—Penggunaan *transverse step* pada bagian bawah lambung kapal memiliki beberapa keuntungan apabila digunakan pada kecepatan optimumnya, diantaranya mengurangi momen *pitching* yang dialami kapal dan mengurangi hambatan dalam hal ini adalah *friction resistance*. *Transverse step* diaplikasikan pada kapal *planing* dengan kecepatan tinggi. Untuk membuktikan hal tersebut, dalam studi ini dilakukan penelitian dalam bentuk simulasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dengan cara membandingkan dua lambung kapal *planing* jenis lambung tunggal tanpa dan dengan *transverse step* pada kondisi air tenang dengan menggunakan *froude number* 1,5 hingga 2,5. Hasil dari simulasi sudut trim pada kedua jenis kapal menunjukkan perbedaan yang signifikan pada tiap variasi kecepatan. Kapal dengan *transverse step* memiliki sudut trim yang lebih besar dibandingkan dengan kapal tanpa *transverse step* namun memiliki perbedaan sudut trim yang lebih kecil pada variasi *froude number* 1,5 hingga 2,5 sebesar 50,62% yaitu senilai 1,51 derajat. Hambatan kapal pada kedua jenis kapal memiliki perbedaan pada simulasi yang dilakukan. Hasil yang didapatkan yaitu kapal dengan *transverse step* memiliki nilai hambatan yang lebih kecil pada *froude number* 1,75 hingga 2,5 yaitu sebesar 14,16% yaitu senilai 3001,16N namun memiliki hambatan yang lebih besar pada *froude number* 2,5.

Kata Kunci—Kapal *Planing*, *Transverse step*, *Pitching Moment Equilibrium*, Hambatan Kapal, *CFD*.

I. PENDAHULUAN

TREN desain kapal cepat di dunia saat ini menunjukkan bahwa bentuk lambung kapal bagian bawah (*wetted surface area*) sangat diperhatikan. Hal ini dibuktikan dengan desain lambung yang lebih mementingkan efisiensi dibandingkan dengan estetika. Salah satu desain lambung kapal cepat yang menjadi primadona pada saat ini adalah desain lambung dengan menggunakan *transverse step*.

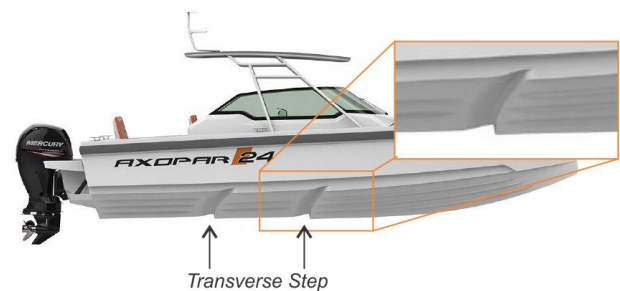
Desain lambung kapal cepat dengan menggunakan *transverse step* sering disalahartikan sebagai desain lambung yang lebih cepat dan lebih efisien jika dibandingkan dengan lambung kapal tanpa *transverse step* dengan mesin yang sama. Hal ini mungkin tidak salah, namun terlalu berlebihan jika dikatakan bahwa tujuan utama dibuatnya lambung dengan *transverse step* adalah untuk mengurangi hambatan kapal [1].

Kelebihan dari lambung dengan *transverse step* memang mengurangi hambatan hingga 8-12%, namun selain itu kelebihan lain adalah mengurangi *pitch* dan menambah *pitch*

control ketika berjalan di laut [2].

Pada dasarnya, pengaplikasian *transverse step* seperti pada Gambar 1 pada kapal *planing* bukan semata karena kelebihannya dalam segi hambatan. Ketika seseorang ingin memindahkan titik berat kapal menjadi lebih kedepan, salah satu alasan pentingnya memindah titik berat kapal lebih kedepan adalah untuk menghindari *porpoising* ketika ingin menambah kecepatan kapal maka penambahan *transverse step* diperlukan. Alasannya adalah kapal tanpa *transverse step* dengan titik berat kapal yang berada jauh didepan *transom*, contoh berada di *midship* kapal memiliki performa yang buruk pada kecepatan rendah hingga sedang.

Dengan memperhatikan permasalahan tersebut, studi mengenai penambahan *transverse step* pada kapal *planing* dengan kecepatan tinggi menjadi penting mengingat penelitian mengenai topik tersebut masih jarang dilakukan.



Gambar 1. Kapal *planing* dengan dua *transverse step*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu penelitian yang paling terkenal mengenai kapal *planing* dilakukan oleh Savitsky [3], dimana untuk pertama kalinya memperkenalkan pendekatan matematika untuk memprediksi performa kapal *planing* seperti *friction resistance*, *pressure resistance*, sudut trim dan parameter hidrodinamis lainnya berdasarkan serangkaian eksperimen.

Banyak penelitian yang dilakukan mengenai prediksi performa kapal *planing* setelah penelitian yang dilakukan Savitsky [3], namun penelitian mengenai performa kapal *planing* dengan *transverse step* masih sedikit.

Setelah melakukan pencarian terhadap referensi penelitian mengenai kapal dengan *transverse step* yang telah dilakukan, didapatkan beberapa penelitian mengenai lambung kapal

dengan *transverse step*. Penelitian yang pertama adalah penelitian yang dilakukan oleh Svahn [1] mengenai lambung dengan *transverse step* dengan menggunakan permodelan matematika mengenai prediksi gerak lambung dilihat dari *pitching moment* yang dialami kapal. penelitian yang dilakukan Svahn [1] memiliki kemiripan dengan penelitian kedua yaitu penelitian yang dilakukan oleh Matveev [4] yang sama-sama melakukan penelitian dengan menggunakan permodelan matematika. Perbedaannya adalah tujuan penelitian yang dilakukan Matveev [4] yaitu memprediksi hambatan pada kapal dengan *transverse step* dengan menggunakan *two dimensional mathematical method*.

Referensi penelitian ketiga adalah penelitian yang dilakukan oleh Garland [5] mengenai investigasi kapal dengan *transverse step* dengan metode uji tarik untuk mengetahui hambatan kapal dengan fungsi objektif berupa tinggi step dihitung dari *baseline*. Referensi penelitian yang keempat adalah penelitian yang dilakukan oleh Gassemi [6] dimana penelitian ini meneliti hambatan kapal *Stepped Hull* dengan variasi LCG, L/B, dan kecepatan kapal pada *calm water*. Penelitian ini memiliki kemiripan dengan yang dilakukan oleh Svahn [1] dan Gassemi [6] dimana sama-sama meneliti performa pada *transverse step hull*. Perbedaannya terletak pada output dimana penelitian yang dilakukan Svahn [1] hanya meneliti lambung dengan step tanpa membandingkan dengan lambung tanpa step dan hanya menggunakan permodelan matematika saja. sedangkan pada penelitian Gassemi [6], penelitian dilakukan, output yang dituju hanya hambatan saja tanpa menghitung *pitching moment equilibrium*.

III. DASAR TEORI

A. Teori Kapal Planing

Kapal planing merupakan salah satu jenis kapal yang mempunyai tingkat efisiensi yang baik sebagai kapal cepat. Kapal ini bergantung pada kecepatan yang mengangkat sebagian lambungnya keluar dari air (*hydrodynamic support*). Dengan kecilnya badan kapal yang bersentuhan dengan air maka kecil juga jumlah tahanan air yang ditanggung. Bentuk badan kapal dirancang mengikuti hukum *hydrodynamic* [3], setiap benda yang bergerak yang dapat menciptakan aliran non-simetris menimbulkan gaya angkat yang tegak lurus dengan arah gerak. Seperti sayap pesawat terbang yang bergerak di udara akan memberi gaya angkat.

Pengukuran yang umum digunakan untuk mengetahui karakteristik hambatan dan bentuk gelombang pada kapal planing adalah *dimensionless froude number* (Fr), yang berhubungan dengan gaya inersia dan gaya eksternal [3]. Rumus untuk mendapatkan nilai Froude number adalah sebagai berikut.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot Lwl}} \quad (1)$$

B. Hambatan Pada Kapal Planing

Kapal planing memiliki dua komponen gaya yang bekerja yaitu *hydrostatic force* dan *hydrodynamic force* sehingga metode untuk memprediksi hambatan kapal planing berbeda

dari metode untuk memprediksi hambatan kapal displasmen. Hambatan hidrodinamis total pada kapal planing terdiri dari hambatan akibat tekanan normal pada dasar kapal dan hambatan viskos tangensial pada dasar kapal di bagian *pressure area* maupun pada *spray area* [7]. Dalam jurnal tersebut dikatakan bahwa apabila pada bagian samping kapal termasuk dalam permukaan area basah (WSA) maka komponen hambatan viskos tambahan harus dimasukkan, namun pada analisa dalam jurnal tersebut, diibaratkan bahwa bagian samping kapal tidak terkena air sama sekali.

Maka dapat dituliskan hambatan kapal pada fluida adalah sebagai berikut.

$$D = \Delta \tan \tau + \frac{C_f \rho V_1^2 (\lambda b^2)}{2 \cos \beta \cos \tau} \quad (2)$$

C. Gaya Angkat Pada Kapal Planing

Pada kecepatan yang sangat rendah atau pada saat keadaan diam, gaya angkat yang mendominasi adalah gaya hidrostatis, namun seiring bertambahnya kecepatan efek gaya angkat hidrodinamis mulai timbul. Pada kecepatan yang sangat tinggi, gaya hidrodinamis menjadi gaya yang dominan dalam memberikan gaya angkat pada kapal planing. Rumus empiris untuk mendapatkan nilai gaya angkat hidrodinamis kapal dengan sudut *deadrise* nol adalah sebagai berikut.

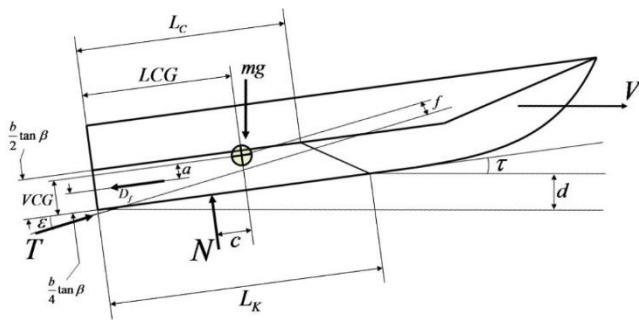
$$C_L = \tau^{1.1} \left[0.0120 \lambda^{1/2} + \frac{0.0055 \lambda^{5/2}}{c_v^2} \right] \quad (3)$$

Untuk sudut trim dan rasio panjang-lebar luasan basah yang telah diberikan, efek yang terjadi dari penambahan sudut *deadrise* adalah pengurangan gaya angkat pada kapal planing. Pengurangan gaya angkat ini disebabkan oleh pengurangan luasan basah pada *stagnation pressure* di *leading edge*. Sehingga rumus untuk kapal dengan sudut *deadrise* tidak sama dengan nol adalah sebagai berikut.

$$C_{L\beta} = C_{L_0} - 0.0065\beta C_{L_0}^{0.60} \quad (4)$$

D. Pitching Moment Equilibrium

Pada jurnal Savitsky [3] diberikan metode untuk memprediksi performa kapal planing. Perhitungan tersebut melibatkan penentuan sudut trim kapal dan hambatan kapal ketika berjalan dimana hal tersebut akan menghasilkan kondisi kesetimbangan pada badan kapal pada kecepatan, beban, dan titik berat yang diberikan. Gambaran mengenai gaya dan momen yang bekerja pada kapal digambarkan pada Gambar 2, dengan begitu kesetimbangan gaya dan momen diberikan dengan rumus sebagai berikut.



Gambar 2. Gaya yang bekerja pada kapal *planing* tanpa *transverse step*

Untuk kesetimbangan gaya vertikal :

$$\uparrow: N \cos \tau + T \sin(\tau + \epsilon) - mg - D_f \sin \tau = 0 \quad (5)$$

Untuk kesetimbangan gaya horizontal :

$$\rightarrow: T \cos(\tau + \epsilon) - N \sin \tau - D_f \cos \tau = 0 \quad (6)$$

Untuk kesetimbangan *pitching moment* :

$$M = N \cdot c + D_f \cdot a - T \cdot f = 0 \quad (7)$$

IV. METODOLOGI

A. Studi Literatur

Tahap pengerjaan yang pertama dilakukan adalah mendapatkan data-data pendukung dalam penelitian ini. Data-data pendukung tersebut adalah berupa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai topik yang sama yaitu kapal dengan *transverse step*. Tahap ini berguna untuk mempersingkat waktu dalam mendapatkan data kapal yang optimal sehingga hasil dalam penelitian ini dapat membuktikan hipotesis yang telah dibuat sebelumnya. Data pendukung tersebut berupa ukuran utama kapal, kecepatan kapal, tinggi step, letak step, letak longitudinal center of gravity, dan data pendukung lainnya. Hasil dari studi literature dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.

Ukuran Utama Kapal Dengan Transverse Step Dan Tanpa Transverse Step				
No	Komponen	Nilai		Unit
		Tanpa <i>transverse step</i>	Dengan <i>transverse step</i>	
1	Displacement	1452.57	1457.4	kg
2	Volume	1417136	1421854.32	cm ³
3	Draft	33.3	34.8	cm
4	Lwl	6.33	6.2012	m
5	Beam Waterline	1779.8	1789.8	cm
6	LoA	7300	7300	cm
7	Letak Step	2.55	-	m dari AP
8	Tinggi Step	0.08	-	m
9	CB	0.378	0.366	-
10	LCB	273.58	265.34	-
11	Cp	0.729	0.708	-
12	Cm	0.584	0.611	-
13	Cwp	0.739	0.729	-
14	L/B	4.101584448	4.078668008	-

B. Permodelan Kapal

Pemodelan lambung kapal yang akan digunakan sebagai input pada perangkat lunak Numeca dengan menggunakan bantuan software Maxsurf Modeler seperti pada Gambar 3. Maxsurf membuat model lambung kapal yang terdiri dari beberapa surface dengan fitur 3D NURB (*Non-Uniform Rational B-Spline*). Database yang akan digunakan pada tahap ini adalah linesplan kapal Clarion 23 Runabout dan disesuaikan dengan data kapal seperti ukuran utama dan displacement.



Gambar 3. Model 3D kapal dengan *transverse step*

C. Simulasi CFD

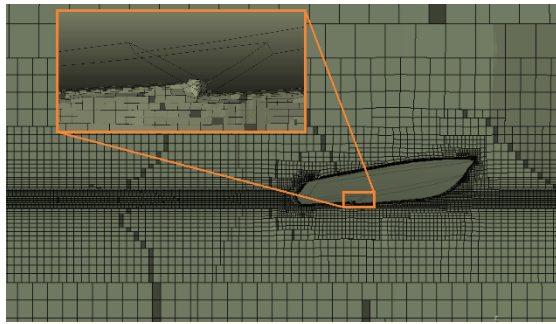
Software Numeca FineMarine merupakan salah satu dari sekian banyak perangkat lunak untuk simulasi CFD dalam hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai hambatan dan *pitching moment* kapal. Salah satu kelebihan perangkat lunak ini adalah kemudahan yang diberikan mengingat perangkat lunak tersebut memang dikhususkan untuk mensimulasikan kapal.

Metode yang digunakan dalam software ini adalah finite volume method yang merupakan metode numerik dimana dalam metode ini dilakukan diskretisasi, dimana diskretisasi adalah memecah domain atau daerah perhitungan menjadi beberapa daerah kecil yang disebut dengan *mesh*, *grid*, atau *cell* [8]. Metode CFD ini dilakukan dengan menggunakan lima variasi kecepatan seperti yang dapat dilihat pada tabel 2. *Froude number* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan panjang luasan basah dan volume yang konstan yang diukur pada saat kapal dalam keadaan diam.

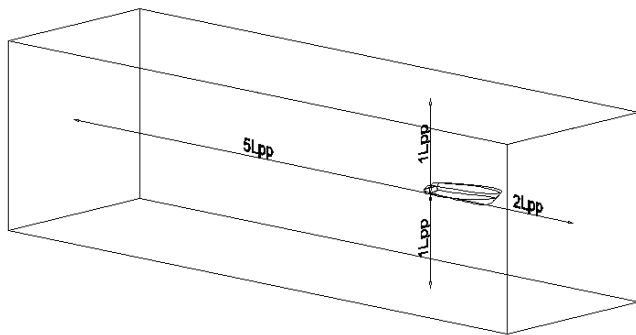
Tabel 2.

Variasi kapal dengan <i>transverse step</i> dan tanpa <i>transverse step</i>				
Fr V	Fr Lwl	Kecepatan		Unit
		Tanpa Step	Dengan Step	
1,12	1,5	11,82	11,70	m/s
1,30	1,75	13,79	13,65	m/s
1,49	2	15,77	15,60	m/s
1,68	2,25	17,74	17,55	m/s
1,86	2,5	19,71	19,50	m/s

Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam simulasi CFD adalah pembuatan geometri kapal, pembuatan *boundary condition*, *mesh generation*, dan *solver*. *Boundary condition* dibuat untuk mendefinisikan batasan di dalam simulasi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5. Proses *mesh generation* dilakukan untuk membuat domain atau bagian kecil hasil diskretisasi atau pemecahan domain dalam *finite volume method*. Hasil *meshing* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil *meshing*



Gambar 5. *Boundary Condition Definition*

D. Perhitungan Pitching Moment Equilibrium

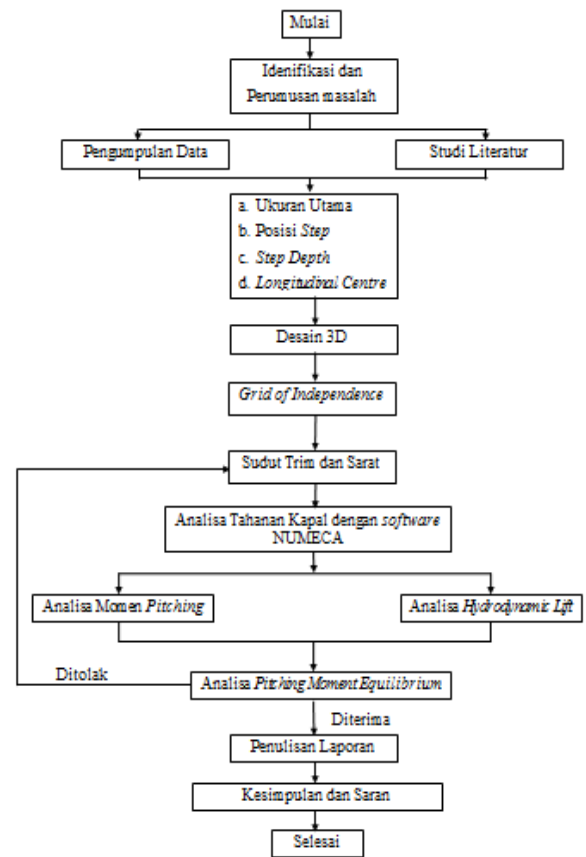
Untuk mendapatkan nilai pitching moment equilibrium, nilai momen yang didapat dicari hingga mendapatkan dua nilai yang bernilai positif dan negatif. Kedua nilai tersebut kemudian diinterpolasi linear, sehingga didapatkan nilai sudut trim yang telah diinterpolasi. Momen positif, momen negatif dan momen yang telah diinterpolasi tersebut kemudian dicari nilai kesalahannya dengan menggunakan metode standar deviasi.

E. Analisa Hambatan dan Sudut Trim Kapal

Setelah didapatkan performa kapal, dalam hal ini adalah sudut trim yang telah memenuhi *pitching moment equilibrium*, analisa hambatan dan gaya angkat dapat dilakukan. Dalam proses analisa tersebut, nilai hambatan dan nilai gaya angkat kapal dikoreksi dengan metode interpolasi linear. Setelah didapatkan tiga nilai hambatan dan gaya angkat pada tiga sudut trim yang nilainya mendekati nilai nol, ketiga nilai tersebut dicari nilai kesalahannya dengan menggunakan metode standar deviasi.

F. Diagram Alir

Secara umum, metode yang telah dijelaskan diatas dapat dibuat menjadi sebuah diagram alir yaitu diagram yang menunjukkan proses yang dilakukan dalam penelitian ini dari langkah pertama yaitu perumusan masalah hingga kesimpulan. Diagram alir dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir

terkecil adalah 0,15 juta elemen sedangkan jumlah cell terbanyak adalah 2,4 juta elemen. Percobaan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai *grid of independence* dilakukan dengan menggunakan lima nilai jumlah *cell* atau elemen. Hasil perbandingan variasi jumlah elemen dibandingkan dengan hambatan, gaya angkat dan momen kapal ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3.

Nilai hambatan, gaya angkat dan momen pada variasi jumlah elemen				
No	jumlah elemen	Drag [N]	lift [N]	moment [Nm]
1	150000	5301	28914,54	-7381,75
2	300000	4831	27948,26	-7240,08
3	600000	4361	26981,98	-7098,41
4	1200000	3268	24491,73	-6434,38
5	2400000	3279	24582,91	-6450,44

Pada tabel tersebut, terlihat perbedaan antara hambatan, gaya angkat dan momen kapal pada tiap-tiap variasi jumlah elemen. Perbedaan tersebut semakin mengecil pada elemen dengan jumlah yang besar dimana dapat dilihat pada Gambar 7.

B. Sudut Trim Kapal

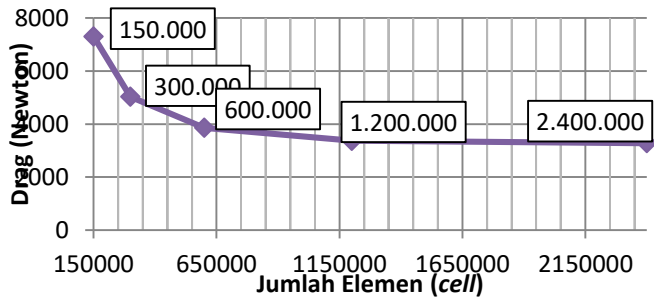
Sudut trim yang dialami kapal pada lima variasi kapal didapatkan dari hasil koreksi yang dijelaskan pada bab metodologi sebelumnya. Dengan menggunakan cara yang

V. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

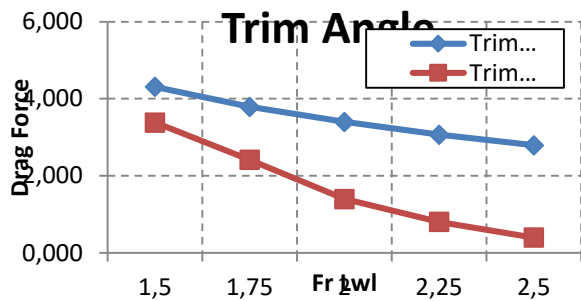
A. Grid of Independence

Sebelum penelitian dilakukan, diperlukan perhitungan nilai jumlah cell yang akan dipakai agar hasil penelitian yang dilakukan mendapatkan hasil yang akurat. Nilai jumlah cell

sama, dilakukan koreksi terhadap sudut trim yang dialami kapal pada tiap-tiap variasi kecepatan. Sehingga didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 7. Grafik perbedaan nilai hambatan kapal tiap variasi jumlah cell.

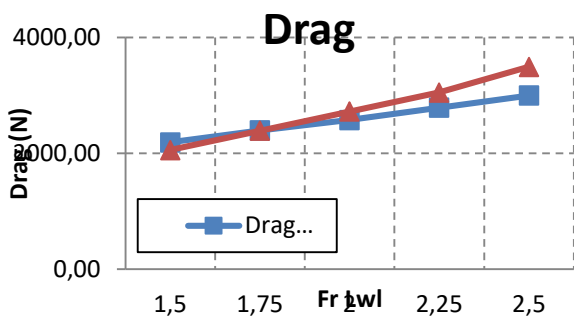


Gambar 8. Grafik perbedaan sudut trim pada tiap Fr Lwl.

Pada gambar tersebut terlihat kapal dengan *transverse step* dan tanpa *transverse step* memiliki sudut trim yang berbeda pada tiap-tiap kecepatan. Kapal dengan *transverse step* cenderung memiliki sudut yang lebih besar dibandingkan kapal tanpa *transverse step*.

C. Hambatan Kapal

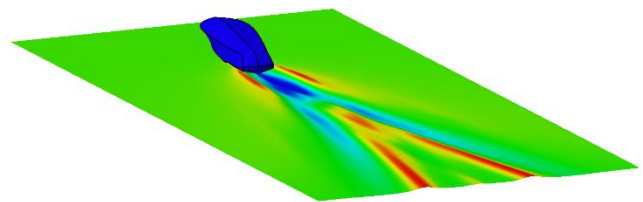
Setelah menganalisa grafik sudut trim, selanjutnya adalah menganalisa hambatan kedua variasi kapal. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9, kapal dengan *transverse step* memiliki hambatan yang besar pada kecepatan awal yaitu pada $1,5 \leq Fr \leq 1,75$ dibandingkan dengan kapal tanpa *transverse step*. Namun pada penambahan kecepatan berikutnya, kapal dengan *transverse step* memiliki hambatan yang lebih kecil dibandingkan dengan kapal tanpa *transverse step*. Dengan melihat pada Gambar 9 maka dapat disimpulkan bahwa kapal dengan *transverse step* memiliki kecepatan optimal yaitu pada kecepatan tinggi.



Gambar 9. Grafik perbedaan hambatan pada tiap Fr Lwl.

VI. ANALISA CFD

Gambar 10 merupakan contoh hasil simulasi CFD kapal tanpa *transverse step* pada kecepatan $Fr=2,5$ dengan menggunakan *software* Numeca. Pada bagian ini akan dibahas mengenai hasil yang didapat dari simulasi yang telah dilakukan pada dua variasi kapal dengan lima variasi kecepatan sehingga didapatkan karakteristik hidrodinamis dari kapal dengan *transverse step* apabila dibandingkan dengan kapal tanpa *transverse step*. Karakteristik hidrodinamis yang akan dibahas mengenai simulasi yang telah dilakukan adalah bentuk gelombang, *static pressure*, dan *hydrodynamic pressure*.



Gambar 10. CFD Analysis dengan menggunakan *software* Numeca

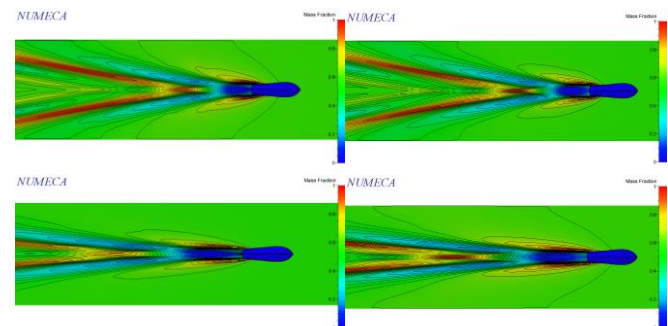
A. Wave Pattern

Wave pattern adalah bentuk gelombang dari fluida yang dilewati benda padat yang terbentuk pada bagian samping dan belakang benda tersebut. *Wave pattern* yang dihasilkan kedua variasi kapal ditunjukkan pada Gambar 11. Gambar tersebut menunjukkan perbedaan bentuk gelombang pada kapal dengan *transverse step* dan kapal tanpa *transverse step* pada $Fr=1,5$ dan $Fr=2,5$.

Kapal dengan *transverse step* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.a menunjukkan bahwa bentuk gelombang pada bagian samping kapal lebih tinggi pada kecepatan rendah namun lebih rendah pada kecepatan tinggi. Hal tersebut berkebalikan dengan kapal tanpa *transverse step* dimana bentuk gelombang lebih rendah pada kecepatan rendah namun lebih tinggi pada kecepatan tinggi.

B. Static Pressure

Pada Gambar 11. Ditunjukkan tekanan normal yang dialami lambung kapal pada bagian dasar kapal. Perbedaan gradasi



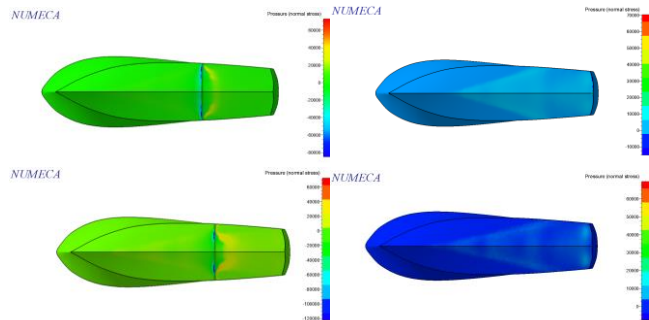
Gambar 11. Wave Pattern pada kapal dengan *transverse step* (kiri) dan tanpa *transverse step* (kanan) pada kecepatan $Fr=1,5$ (atas) dan $Fr=2,5$ (bawah).

warna menunjukkan perbedaan tekanan normal yang dialami tiap-tiap bagian dasar kapal. Warna merah menunjukkan bagian

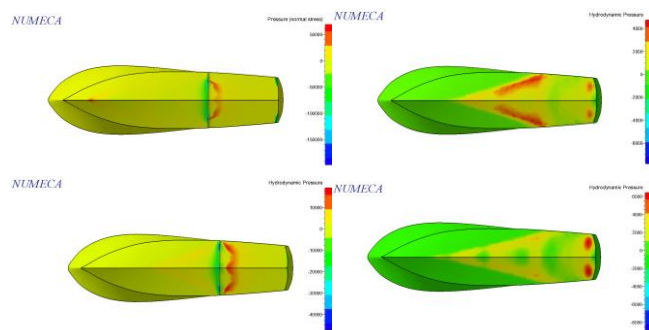
kapal mengalami tekan yang terbesar sedangkan warna biru menunjukkan tekanan yang paling kecil.

C. Hydrodynamic Pressure

Pada gambar 13 ditunjukkan perbedaan tekanan pada dasar kapal tanpa step pada kecepatan $Fr=1,5$ dan pada kecepatan $Fr=2,5$. Terlihat tekanan pada bagian step memiliki tekanan paling kecil dimana ditunjukkan pada warna biru sedangkan bagian di belakang step memiliki tekanan yang paling besar ditunjukkan dengan bagian warna merah dan kuning. Pada perbedaan kecepatan tersebut, terlihat bahwa tekanan pada bagian dibelakang step pada kecepatan yang lebih tinggi memiliki tekanan yang lebih besar



Gambar 12. Static pressure pada kapal dengan transverse step (kiri) dan tanpa transverse step (kanan) pada kecepatan $Fr=1,5$ (atas) dan $Fr=2,5$ (bawah)..



Gambar 13. Hydrodynamic Pressure pada kapal dengan transverse step (kiri) dan tanpa transverse step (kanan) pada kecepatan $Fr=1,5$ (atas) dan $Fr=2,5$ (bawah).

VII. KESIMPULAN

Simulasi CFD dapat memberikan data yang sulit didapatkan dengan uji eksperimental seperti aliran fluida disekitar lambung kapal dan detail gaya yang bekerja pada tiap bagian lambung kapal. Perangkat lunak Numeca FineMarine berhasil memberikan hasil yang lengkap disertai detail yang memuaskan pada permasalahan dalam penelitian ini.

Simulasi CFD yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan data kapal dari penelitian yang telah ada sebelumnya. Data kapal tersebut meliputi tinggi step, letak step, dan letak LCG. Tinggi step yang digunakan adalah 4% lebar kapal yaitu senilai 0,08m; letak step 30% dari panjang LoA yaitu 2,2m diukur dari transom kapal dan letak LCG adalah 35% panjang LoA yaitu 2,55m diukur dari transom kapal. Hasil yang didapatkan dengan menggunakan konfigurasi

tersebut adalah kapal dengan transverse step memiliki perbedaan sudut pada $1.5 \leq Fr \leq 2,5$ lebih kecil 50,62% yaitu sebesar 1,5 derajat. Dari segi hambatan, kapal dengan transverse step memiliki hambatan kapal yang lebih kecil dibanding kapal tanpa transverse step pada $Fr \geq 1,75$ namun memiliki hambatan yang lebih besar pada $Fr \leq 1,75$. Hambatan kapal pada $Fr=2$ lebih kecil 5,33% dengan nilai 2578,22N. Pada $Fr=2,25$ lebih kecil 8,56% dengan nilai 2791,03N; dan pada $Fr=2,5$ lebih kecil 14,16% dengan nilai 3001,16N.

Dengan melihat hasil yang didapatkan pada simulasi, dapat disimpulkan bahwa kapal dengan transverse step memiliki pitch control yang lebih baik dan nilai hambatan yang lebih kecil apabila diaplikasikan pada kapal dengan Froude number tinggi ($Fr \geq 1,75$) dibandingkan kapal tanpa transverse step.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kepala Laboratorium Hidrodinamika Kapal dan Laboratorium Desain Kapal Departmen Teknik Perkapalan, FTK-ITS dan segenap karyawan yang telah memfasilitasi dan mendukung proses pelaksanaan analisa CFD, sehingga dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Svahn, "Performance Prediction of Hulls with Transverse step," Royal Institute of Technology, 2009.
- [2] L. Campbell, "Notes on Step Hull," 2012.
- [3] D. Savitsky, "Hydrodynamic Design of Planing Hulls," 1964.
- [4] I. K. Matveev, "Two-Dimensional Modelling of Stepped Planing Hulls with Open and Pressurized Air Cavities," *Inter J Nav Arch. Oc Engng*, vol. 4, p. 162, 2012.
- [5] W. R. Garland, "Stepped Planing Hull Investigation," United States Naval Academy, 2010.
- [6] S. T. Golah, "Toward Numerical Modeling of the Stepped and Non Stepped," *Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, 2014.
- [7] et al. Gassemi, H., "A Hydrodynamic Methodology and CFD Analysis for Performance Prediction of Stepped Planing Hull," *Polish Marit. Res.*, vol. 22, pp. 23–31, 2015.
- [8] T. D. Frisk. D, "Prediction of High-Speed Planing Hull Resistance and Running Attitude," Chalmers University Of Technology, 2015.