

Desain *Fast Displacement Ship* untuk Lomba Kapal Cepat pada HYDROCONTEST

Pieter Mario Fernandez, Wasis Dwi Aryawan, dan Gita Marina Ahadyanti

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

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

Abstrak—HYDROCONTEST merupakan perlombaan kapal cepat dan efisien antar mahasiswa di tingkat internasional dalam format *race* menggunakan kapal yang didesain, diteliti, dan diproduksi sendiri oleh para mahasiswa. Perlombaan ini mendorong para peserta untuk berinovasi dalam menghasilkan kapal dengan performa keseluruhan yang baik dari segi hambatan, propulsi, *maneuvering*, dan efisiensi sistem elektrik. Melihat iklim riset dalam perlombaan dan berdasarkan pengalaman/keikutsertaan tim HYDRONE ITS dalam HYDROCONTEST 2017, dilakukan proses desain kapal yang akan digunakan tim HYDRONE ITS dalam HYDROCONTEST 2018 dimana dalam proses desain ini juga dilakukan analisa CFD pada 3 variasi bentuk haluan kapal dan optimisasi sistem propulsi (*pitch propeller* dan *RPM*) agar kapal memiliki kecepatan dan *endurance* yang optimal. Dari proses penelitian ini, diperoleh desain kapal *monohull* dengan haluan berupa *axe bow* dengan estimasi kecepatan maksimal 5.25 m/s dan jumlah jarak tempuh maksimum 24 *lap* lintasan tanpa mengisi ulang baterai.

Kata Kunci—Kapal Cepat, Hambatan, CFD, Propulsi, Optimisasi.

I. PENDAHULUAN

HYDROCONTEST merupakan perlombaan kapal cepat dan efisien antar mahasiswa di tingkat internasional yang diadakan sejak tahun 2014 dan diikuti oleh puluhan tim mahasiswa dari belasan negara. Adapun tujuan utama dari perlombaan ini adalah untuk mengajak para pelajar turut berpartisipasi dalam mengembangkan inovasi yang dapat diterapkan pada dunia perkapalan. Format perlombaan yang diadakan oleh HYDRON Foundation ini berupa *race* menggunakan kapal yang didesain, diteliti, dan diproduksi sendiri oleh para mahasiswa. Konsep dan desain kapal yang digunakan oleh setiap peserta adalah sebebas-bebasnya selama tidak melebihi batasan ukuran maksimal serta menggunakan baterai dan motor penggerak yang disediakan penyelenggara perlombaan.

Perlombaan ini pertama kali diikuti oleh tim HYDRONE ITS pada tahun 2017 dengan menggunakan kapal berupa *displacement catamaran* untuk mengikuti kategori perlombaan *Lightweight Race* dan *Long-Distance Race* serta kapal *trimaran* untuk mengikuti kategori perlombaan *Heavyweight Race*. Peringkat yang diperoleh pada saat itu (dari 23 tim) adalah peringkat 10 untuk kategori *Lightweight Race*, peringkat 14 untuk kategori *Heavyweight Race*, dan peringkat 15 untuk kategori *Long-Distance Race*. Kegagalan sistem elektrik dan kebocoran kapal dilaporkan sebagai kendala utama tim selama perlombaan berlangsung [1].



Gambar 1. Kapal *displacement catamaran* tim HYDRONE ITS pada HYDROCONTEST 2017.

Berdasarkan pengalaman pada keikutsertaan tersebut, terdapat banyak evaluasi dan rencana pengembangan agar tim dapat bersaing dengan performa yang lebih baik di keikutsertaan berikutnya. Evaluasi dan rencana pengembangan ini meliputi pengembangan desain lambung kapal yang lebih efisien, peningkatan efisiensi sistem propulsi, perbaikan sistem *steering gear* agar kapal memiliki *maneuvering* yang lebih baik, peningkatan kualitas produksi kapal, serta perbaikan sistem elektrik. Melihat banyaknya aspek yang harus dikembangkan oleh tim serta manfaat dari perlombaan HYDROCONTEST sendiri, penulis merasa bahwa *event* ini dapat menjadi sarana untuk mengembangkan desain kapal yang efisien, melakukan penelitian, serta turut berkontribusi dalam pengembangan tim HYDRONE ITS (penulis masih merupakan bagian dari tim saat Jurnal ini dibuat).

Dalam jurnal ini, akan didesain kapal yang akan digunakan untuk kategori perlombaan *Lightweight Race* dan *Long-Distance Race* (satu kapal untuk dua kategori perlombaan) yang akan digunakan tim HYDRONE ITS pada HYDROCONTEST 2018. Dalam pengerjaan jurnal ini, terus dilakukan komunikasi antara penulis dan tim HYDRONE ITS untuk menghasilkan desain kapal dengan performa yang optimal dan memastikan adanya sinergi antara proses desain dan proses produksi mengingat keduanya dilakukan secara beriringan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Peraturan Perlombaan

Perlombaan dibagi menjadi tiga kategori perlombaan yaitu *Lightweight Race*, *Heavyweight Race*, dan *Long-Distance Race*. Setiap tim diperbolehkan membuat maksimal 2 kapal untuk mengikuti ketiga kategori tersebut. Dalam jurnal ini, kapal yang didesain akan digunakan untuk kategori *Lightweight*

Race dan *Long-Distance Race*. Kedua kategori ini dibedakan pada objektif perlombaan dan panjang lintasannya seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1. Tidak ada batasan terkait desain kapal selain ukuran maksimal kapal. Dalam perlombaan ini, setiap tim akan menggunakan motor (1400 Watt) dan baterai yang sama yang telah disediakan panitia.

B. Data Hasil Perlombaan Pada HYDROCONTEST 2017

Berdasarkan data yang dikumpulkan tim HYDRONE ITS pada HYDROCONTEST 2017, kapal tercepat dalam kategori *Lightweight-Race* memiliki waktu tercepat sekitar 45 detik untuk menyelesaikan lintasan sepanjang 600 meter (kecepatan rata-rata sekitar 4.5 m/s) sementara jumlah *lap* terbanyak yang ditempuh adalah 22 *lap* untuk panjang lintasan 400 meter. Tipe kapal yang berada di peringkat 4 besar kedua kategori ini terdiri dari kapal *hydrofoil*, *displacement monohull*, dan *displacement catamaran* seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan

Tabel 3.

Tabel 1.
Perbandingan Kategori Perlombaan

Aspek	Kategori Perlombaan	
	<i>Lightweight Race</i>	<i>Long-Distance Race</i>
Objektif	Kapal menyelesaikan lintasan dengan waktu tercepat.	Kapal menempuh lintasan dalam waktu 60 menit dengan jumlah <i>lap</i> terbanyak tanpa mengisi ulang baterai
Muatan	Dua buah balok beban (masing-masing 10 kg). Setiap balok beban berukuran 50 cm x 12 cm x 10 cm.	
Panjang Lintasan	600 m	400 m

Tabel 2.
Tipe kapal pada peringkat 4 besar kategori *Lightweight Race*.

Peringkat	Nama Tim	Negara	Tipe Kapal
1	HEIA-FR	Swiss	<i>Hydrofoiled Trimaran</i>
2	Belgrade	Serbia	<i>Displacement Monohull</i>
3	HEIG-VD	Swiss	<i>Hydrofoiled Monohull</i>
4	Athens	Yunani	<i>Displacement Monohull</i>

Tabel 3.
Tipe kapal pada peringkat 4 besar kategori *Long-distance Race*.

Peringkat	Nama Tim	Negara	Tipe Kapal
1	Hydrometra	Kolombia	<i>Displacement Catamaran</i>
2	Southampton	UK	<i>Displacement Monohull</i>
3	HEIA-FR	Swiss	<i>Displacement Monohull</i>
4	Belgrade	Serbia	<i>Displacement Monohull</i>

C. Evaluasi Kapal Pada HYDROCONTEST 2017

1) Berat Kapal

Kapal memiliki lambung yang terlalu berat sehingga LWT kapal mencapai 28 kg, padahal berat kapal akan berpengaruh pada *length-displacement ratio* yang akan berpengaruh pada hambatan kapal [2].

2) Bentuk Haluan dan Buritan

Bentuk haluan hanya mengikuti bentuk haluan konvensional dan tidak didesain khusus untuk mengurangi hambatan. Kapal juga memiliki sarat yang terlalu tinggi pada bagian *transom* sehingga terjadi turbulensi di belakang *transom* [3].

3) Trim

Akibat posisi *thrust line propeller* cukup jauh di bawah titik berat kapal, kapal mengalami *trim* saat *propeller* menghasilkan *thrust*. *Trim* berpengaruh pada hambatan kapal [4] dan efisiensi sistem propulsi [5].

4) Sistem Propulsi

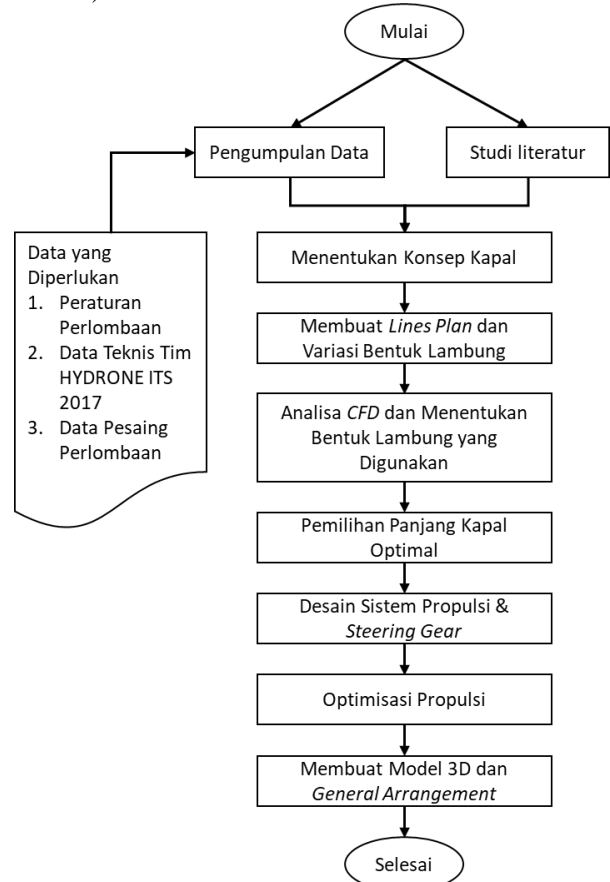
Tidak dilakukan optimisasi sistem propulsi sehingga kapal cukup cepat kehabisan daya.

5) Navigasi

Kapal tidak dilengkapi dengan sistem *FPV (First Person View)* sehingga *driver* kesulitan menavigasi kapal saat posisi kapal jauh dari *driver*.

III. METODOLOGI

Metodologi desain kapal dapat dilihat pada diagram alir (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram alir proses desain kapal.

IV. ANALISA TEKNIS

A. Menentukan Konsep Kapal

Penentuan konsep kapal dilakukan dengan melihat tipe kapal pada hasil perlombaan di tahun sebelumnya. Dikarenakan kapal akan digunakan pada dua kategori sekaligus, maka konsep kapal yang digunakan adalah *displacement monohull* melihat tipe kapal tersebut cukup mendominasi baik pada peringkat teratas kategori *Lightweight Race* dan *Long-Distance Race* (Tabel 2 dan

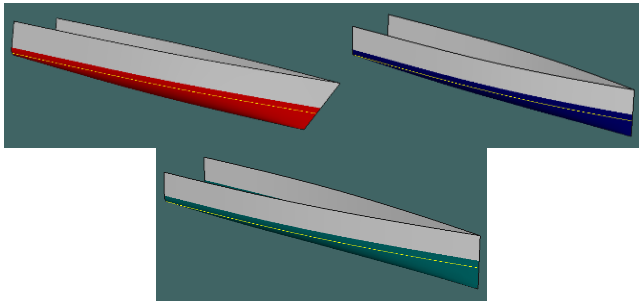
Tabel 3).

B. Desain dan Variasi Bentuk Lambung Kapal

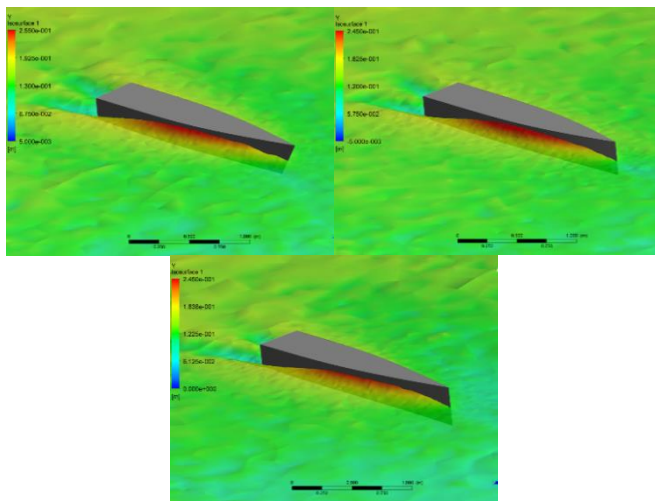
Model awal kapal mereferensi pada seri MARIN *Fast Displacement Hull Form* [6] dimana kapal merupakan *slender monohull* dengan *round bilge* dan *transom stern*. Kapal didesain memiliki sarat yang kecil pada bagian *transom* agar tidak terjadi turbulensi pada aliran air di belakang kapal. Kapal tidak memiliki *parallel middle body* untuk memaksimalkan *length of entrance* dan *length of run* sehingga dapat mereduksi *wave making resistance* [7]. Bentuk sisi lambung kapal di atas permukaan air dibuat lurus atau tidak melengkung pada arah *transversal* untuk memudahkan proses produksi. Dalam jurnal ini

dibuat tiga variasi model dengan bentuk haluan yang berbeda-beda, yaitu *conventional bow*, *vertical bow*, dan *axe bow*. Perbandingan ukuran utama pada ketiga variasi model dapat dilihat pada

Tabel 4.



Gambar 3. Variasi model lambung kapal dengan *conventional bow* (kiri atas), *vertical bow* (kanan atas), dan *axe bow* (bawah).



Gambar 4. Visualisasi gelombang yang dihasilkan kapal pada model *conventional bow* (kiri atas), *vertical bow* (kanan atas), dan *axe bow* (bawah).

Tabel 4.
Ukuran utama variasi model.

	<i>Conventional Bow</i>	<i>Vertical Bow</i>	<i>Axe Bow</i>
LOA	2.20 m	2.20 m	2.20 m
LWL	2.07 m	2.20 m	2.20 m
B	0.4 m	0.4 m	0.4 m
T	0.105 cm	0.1 cm	0.135 cm
H	0.3 m	0.3 m	0.335 m
Cb	0.418	0.419	0.316
Disp.	36 kg	36 kg	36 kg

C. Analisa CFD

Untuk memilih desain lambung yang akan digunakan dari ketiga variasi model yang telah dibuat, dilakukan analisa CFD untuk membandingkan besar hambatan lambung kapal. Perbandingan hambatan tidak menggunakan rumus pendekatan dikarenakan ketiga model memiliki ukuran utama dan koefisien yang hampir serupa. Selain untuk membandingkan hambatan kapal, lewat analisa CFD juga dapat dilakukan visualisasi gelombang dan aliran fluida di sekitar lambung kapal yang dapat berguna untuk pengambilan keputusan desain selanjutnya seperti modifikasi bentuk lambung dan pemosisian *propeller*. Dari analisa ini, didapati bahwa model *axe bow* memiliki hambatan terkecil dibanding dua variasi model lainnya. Beberapa penelitian terdahulu juga menyebutkan modifikasi haluan dari bentuk konvensional menjadi *axe bow*

mengakibatkan pengurangan hambatan kapal dan peningkatan *seakeeping* [8][9].

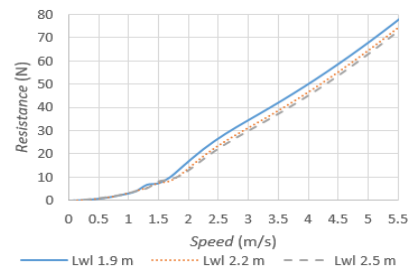
Tabel 5.
Perbandingan hambatan variasi model.

Speed (m/s)	F_n	<i>Conventional Bow</i> Resistance (N)	<i>Vertical Bow</i> Resistance (N)	<i>Axe Bow</i> Resistance (N)
0	0.00	0	0	0
2.5	0.54	37.31	37.20	32.29
5	1.08	72.33	65.10	64.81
7.5	1.61	124.36	118.84	110.55

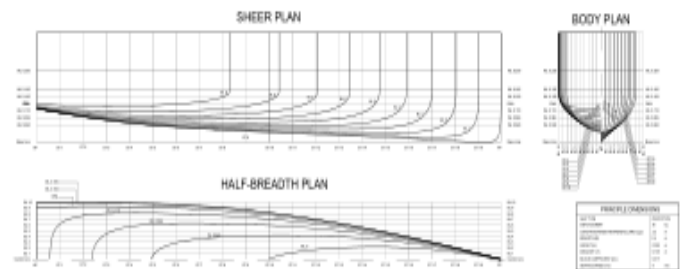
D. Pemilihan Panjang Kapal yang Optimal

Setelah mendapatkan bentuk lambung yang memiliki hambatan terkecil dari hasil analisa CFD, dibuat variasi panjang kapal untuk dianalisa hambatannya dengan hipotesa bahwa kapal yang lebih panjang dengan DWT yang sama cenderung memiliki hambatan yang lebih kecil [10]. Model divariasikan menjadi 3 varian dengan panjang 1.9 meter (-30 cm dari desain awal), 2.2 meter (+0 cm dari desain awal), dan 2.5 meter (+30 cm dari desain awal). Sarat dari tiap model mengikuti *displacement* masing-masing yang sedikit berbeda dari desain awal karena perubahan luas *surface* lambung yang berdampak pada perubahan berat lambung.

Hasil analisa hambatan menunjukkan bahwa model kapal yang lebih panjang memiliki hambatan yang lebih kecil. Meskipun demikian, penambahan panjang dari ukuran awal (2.2 meter menjadi 2.5 meter) hanya berdampak pada pengurangan hambatan yang tidak begitu signifikan sehingga panjang yang digunakan tetap 2.2 meter agar kapal memiliki dimensi yang minimal dan memudahkan proses pengiriman kapal ke lokasi perlombaan.



Gambar 5. Perbandingan hambatan model dengan variasi panjang.



Gambar 6. Lines plan kapal.

E. Desain Sistem Propulsi

Sistem propulsi yang digunakan pada desain kapal ini merupakan *podded azimuth propulsion* dimana *pod* dapat berotasi pada sumbu vertikal untuk mengubah arah *thrust* dan membelokkan kapal tanpa menggunakan kemudi. Meskipun demikian, penyangga *pod* yang berbentuk *foil* juga dapat berfungsi sebagai kemudi saat kapal meluncur tanpa

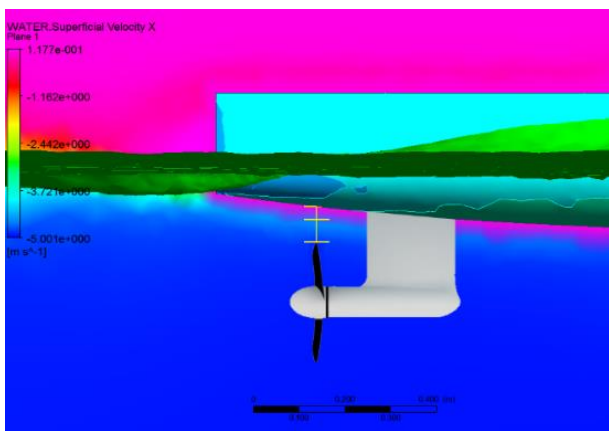
menghasilkan *thrust*. Kapal dengan sistem *azimuth propulsion* memiliki kemampuan *maneuvering* yang lebih baik dibanding sistem *fixed propulsion* dan kemudi [11].

Kecepatan aliran air di sekitar lambung kapal pada arah memanjang dapat divisualisasikan dengan simulasi *CFD* agar *propeller* dapat diposisikan dimana kecepatan aliran air maksimum (di luar daerah *wake*) sehingga tidak menyebabkan penurunan efisiensi *propeller* [12]. Aliran air dengan kecepatan sama dengan kecepatan kapal (V_s) diindikasikan dengan warna biru tua sementara warna lainnya (di bawah permukaan air) mengindikasikan perlambatan kecepatan fluida akibat interaksi fluida dengan lambung kapal (Gambar 7). *Propeller* tidak diposisikan lebih jauh ke bawah karena dapat menyebabkan kapal mengalami *trim* saat *propeller* menghasilkan *thrust*.

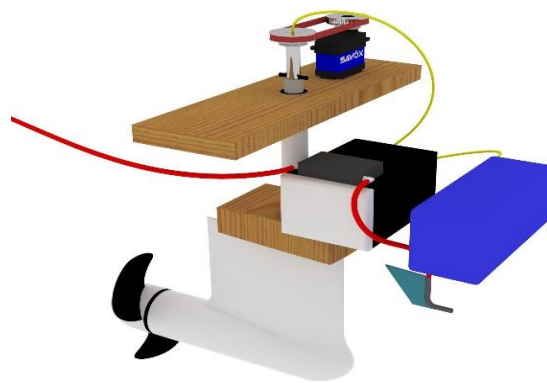
Salah satu fitur unggulan dari desain kapal ini adalah sistem pendinginan komponen elektrik tanpa menggunakan pompa sehingga dapat menghemat pemakaian listrik yang akan berpengaruh pada *endurance* kapal dalam *Long-Distance Race*. Dengan memanfaatkan prinsip Bernoulli, air akan masuk melalui *inlet* yang terletak di sisi bawah lambung kapal ketika kapal mulai bergerak, mendinginkan sistem, dan keluar melalui *outlet* di *transom* kapal. Tidak dibutuhkan kecepatan yang tinggi agar sistem ini dapat bekerja karena bagian tertinggi dari sistem berdekatan dengan permukaan air (sistem memiliki *head* yang kecil).

F. Optimisasi Propulsi

Propulsi merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh pada performa kapal dalam perlombaan. Optimisasi propulsi dilakukan untuk menentukan *pitch propeller* dan *RPM* motor agar kapal memiliki kecepatan maksimum pada *Lightweight Race* dan memiliki *endurance* maksimum pada *Long-Distance Race*.



Gambar 7. Visualisasi kecepatan aliran air dan pemosisian *propeller* dari tampak samping.



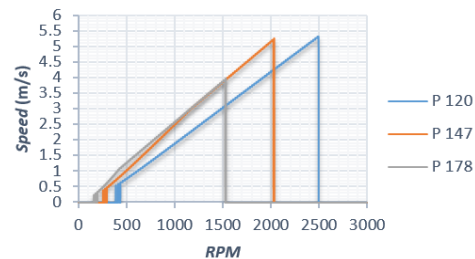
Gambar 8. Desain sistem propulsi.

Optimisasi yang dilakukan merupakan Optimisasi Global dengan metode *Exhaustive Search* pada 3 variasi *pitch* dan pengujian pada *RPM* 0 – 3000 menggunakan data *open water test propeller* yang diolah bersama data hambatan kapal dari analisa *CFD*. Terdapat sedikit keterbatasan dalam proses optimisasi ini dikarenakan data *open water test* (grafik *KT*, *KQ*, dan *J*) yang diperoleh tidak meliputi bentuk grafik secara menyeluruh atau hanya pada *range J* tertentu saja.

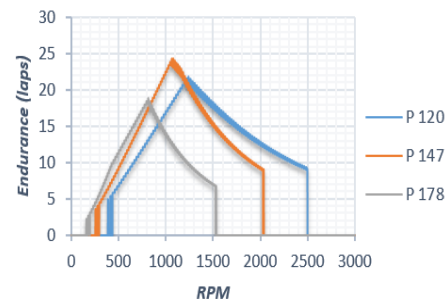
Berdasarkan hasil optimisasi, dengan *pitch* dan *RPM* yang optimum, kapal akan memiliki kecepatan maksimum 5.25 m/s pada *Lightweight Race* dan *endurance* 24 lap pada *Long-Distance Race* (Gambar 9 dan Gambar 10).

G. Model 3D

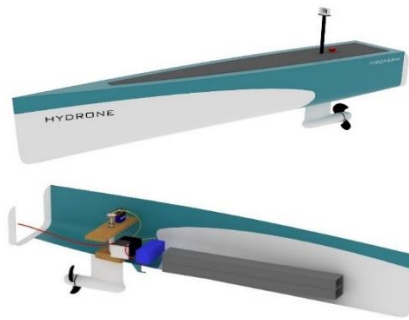
Pembuatan Model 3D dilakukan tidak hanya untuk visualisasi kapal melainkan juga untuk menentukan pemosisian komponen kapal dan untuk perhitungan titik berat. Model 3D juga dapat diproyeksi menjadi gambar 2 dimensi sehingga mempermudah proses pembuatan *general arrangement*.



Gambar 9. Pengaruh *RPM propeller* terhadap kecepatan kapal pada 3 variasi *pitch propeller*.



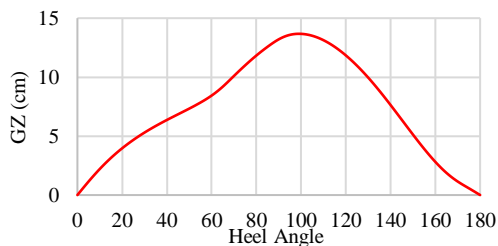
Gambar 10. Pengaruh *RPM propeller* terhadap jumlah lap yang dapat ditempuh kapal pada 3 variasi *pitch propeller*.



Gambar 11. Model 3D.

H. Stabilitas

Kapal didesain memiliki titik berat serendah mungkin dengan cara memosisikan beban dan komponen elektrik di titik terendah kapal (Gambar 11) dengan harapan kapal akan memiliki stabilitas yang baik. Meskipun dimensi lambung kapal cukup tinggi, berat lambung hanya sekitar 17% dari *displacement* sehingga kapal justru memiliki nilai GZ yang besar pada sudut *heel* yang ekstrim. Kurva GZ kapal (Gambar 12) menunjukkan kapal memiliki GZ maksimum pada sudut *heel* 99 derajat. Pengecekan pada lambung kapal yang telah diproduksi menunjukkan kapal kembali ke posisi *upright* dengan cukup cepat setelah dimiringkan pada berbagai sudut *heel* (Gambar 13).



Gambar 12. Kurva GZ kapal.



Gambar 13. Pengecekan kebocoran dan pengujian stabilitas kapal.



Gambar 14. Kapal dalam proses produksi.

I. Produksi Kapal

Kapal diproduksi oleh tim HYDRONE ITS untuk dilombakan pada HYDROCONTEST 2018. Berat kapal diperkirakan akan sesuai atau lebih ringan dari berat desain (16

kg). Belum sempat dilakukan *trial* saat jurnal ini dibuat namun belum terdapat kendala dalam proses produksi sehingga kapal sesuai dengan desain.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan proses desain kapal ini, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah:

1. Dihilangkan desain *fast displacement ship* dengan tipe *slender monohull*.
2. Berdasarkan hasil simulasi *CFD*, varian lambung kapal dengan bentuk haluan berupa *axe bow* memiliki hambatan terkecil dibanding *conventional bow* dan *vertical bow*.
3. Tanpa mengubah *payload*, lebar, dan tinggi kapal, semakin panjang kapal maka kapal akan cenderung memiliki hambatan total yang lebih kecil.
4. Sistem propulsi merupakan *podded azimuth propulsion* dengan strut penyangga *pod* yang juga dapat berfungsi sebagai kemudi saat *propeller* sedang tidak menghasilkan *thrust*. Kapal tidak menggunakan pompa untuk sistem pendinginan komponen elektrik untuk menghemat penggunaan listrik saat *Long-Distance Race*.
5. Berdasarkan hasil optimisasi *pitch propeller* dan *RPM* motor, kapal dapat mencapai kecepatan maksimum 5.25 m/s dalam *Lightweight Race* dan menempuh 24 lap dalam *Long-Distance Race*.
6. Kapal memiliki *stabilitas* yang baik karena memiliki dimensi lambung yang cukup tinggi namun titik berat yang sangat rendah.
7. Kapal diproduksi oleh tim HYDRONE ITS untuk dilombakan dalam HYDROCONTEST 2018. Belum ada kendala mayor selama proses produksi dan kapal sesuai dengan desain yang dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] HYDRONE ITS, "Laporan Pertanggungjawaban Batharasurya Hydrone ITS: HYDROCONTEST 2017," Surabaya, 2017.
- [2] A. Molland, J. Wellicome, and P. Couser, "Resistance Experiments on A Systematic Series of High Speed Displacement Catamarans Forms: Variation of Length-Displacement Ratio and Breadth-Draught Ratio," Southampton, 1994.
- [3] M. Haase, J. Binns, G. Thomas, and N. Bose, "Wave-piercing Catamaran Transom Stern Ventilation Process," 2015.
- [4] F. D. Luca and C. Pensa, "The Naples Warped Hard Chine Hulls Systematic Series," Naples, Italy, 2017.
- [5] M. Islam, B. Veitch, A. Akinturk, N. Bose, and P. Liu, "Experiments with Podded Propulsors in Static Azimuthing Conditions," 2007.
- [6] MARIN, "The MARIN Systematic Series Fast Displacement Hulls,"
- [7] A. Papanikolaou, *Ship Design: Methodologies of Preliminary Design*. Springer, 2014.
- [8] J. Keuning, S. Toxopeus, and J. Pinkster, "The Effect of Bowshape on the Seakeeping Performance of a Fast Monohull," 1997.
- [9] R. Dahna, "Analisis Alternatif Hull Form Self-Propelled Barge Untuk Meningkatkan Performa Hidrodinamika," Surabaya, 2018.
- [10] J. Keuning and J. Pinkster, "Optimisation of the seakeeping behaviour of a fast monohull," in *Proceedings of the Third International Conference on Fast Sea Transportation*, 1995.
- [11] R. Pakaste, "Experience with Azipod Propulsion Systems on Board Marine Vessels," *ABB Rev.*, 1999.
- [12] H. Sid'qon, "Kajian Bentuk Stern Hull Kapal Shallow Draft Untuk Meningkatkan Performance Kapal," Surabaya, 2015.