

STUDI PENGARUH VARIASI BENTUK *WAVE-PIERCING* TERHADAP HAMBATAN PADA *HIGH SPEED CRAFT (HSC)* BERLAMBUNG KATAMARAN DENGAN SIMULASI *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)*

Ahmad Hafizh Ridho¹, Eko Julianto², I Putu Arta Wibawa³

¹Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 60111

² Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 60111

³ Program Studi Teknik Perancangan Dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 60111

E-mail: ahafizh@student.ppns.ac.id¹; eko_julianto@ppns.ac.id²; putuarta@ppns.ac.id³

Abstract – Simulation on towing tank that require large costs, makes the ship's owner have to pay more to find their ship resistance value. Computational Fluid Dynamics (CFD) can be the substitution to determine the resistance. This research discuss the effect caused by the variations application in wave-piercing forms on the MV. Saint John Paul II catamaran High-Speed Craft (HSC) at service speed to find the smallest resistance value among them. The original model of the ship was obtained during TEEP research visiting program at National Taiwan University. 3D modeling on the wave-piercing variations was using Rhinoceros6 software. Analysis to find the value of resistance was using CFD method with the help of Orca3D and "SimetricsMP+ForMarine" softwares. Variation was applied to the wave-piercing only, so it does not change the hydrostatic and stability of the initial model that has been validated. Based on the transient CFD result at the speed of 38 knots, the researcher has obtained the axe bow is having the smallest resistance value with 1101kN, followed by the raked bow, that have 1126,35kN resistance value, and the original bow with 1137,7kN.

Keywords: Catamaran, Computational Fluid Dynamics, High-Speed Craft, Resistance, Wave-Piercing

1. PENDAHULUAN

Era industri 4.0 yang sedang berlangsung saat ini turut memberi andil dalam industri perkapalan di Indonesia. Meski perkapalan di Indonesia sudah mulai berkembang, namun tetap saja perkapalan di Indonesia masih tergolong tertinggal oleh negara-negara maju dunia.

Sebelum memproduksi kapal, umumnya pihak galangan akan menguji kelayakan rancangan kapal tersebut melalui beberapa tes. Tes yang dimaksud adalah seperti tes hidrostatik, stabilitas, dan yang tak kalah penting adalah pengetesan hambatan yang diterima kapal saat berlayar atau lebih dikenal dengan nama *resistance*. Banyak galangan di Indonesia yang masih melakukan pengujian tersebut menggunakan metode simulasi model kapal pada *towing tank*. *Towing tank* sendiri sebenarnya bisa dibilang cukup akurat, namun kekurangan dari pengujian dengan *towing tank* adalah diperlukan biaya yang cukup besar. [5]

Kapal cepat atau biasanya disebut *High-Speed Craft (HSC)* sudah banyak ditemui di negara-negara Eropa. HSC sendiri umumnya memiliki lambung berjenis katamaran untuk mengimbangi kecepatan yang dihasilkan oleh putaran *propellernya*. Umumnya HSC memiliki kecepatan rata-rata 30 hingga 50 knot sehingga hanya memerlukan waktu beberapa jam saja untuk menyebrang antar pulau yang berjarak jauh.

Kedepannya, pemerintah Indonesia berencana menyempurnakan sistem penyebrangan antar pulau. Pertumbuhan ekonomi yang saat ini terpusat di Jawa, akan lebih diratakan ke berbagai pelosok daerah dengan bantuan kapal laut. Hasil observasi menunjukkan bahwa keberhasilan dalam sebuah pembangunan negara sangat dipengaruhi oleh peran penting dari transportasi, maka dari itu sangat mungkin kedepannya Indonesia juga akan membuat kapal ferry ro-ro cepat atau HSC. [2]

2. METODOLOGI

2.1 Tahanan dan Propulsi Kapal

Hambatan kapal berperan cukup penting dalam pemilihan sistem propulsi kapal. Maka dari itu, untuk memenuhi kebutuhan propulsif yang efisien, hambatan pada kapal harus diminimalisir. Pengurangan hambatan dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan membuat desain lambung kapal yang dapat memecah gelombang atau biasa dikenal dengan istilah *wave-piercing*.

Membahas perbandingan antara model kapal dengan kapal asli, William Froude (1955) menyebutkan bahwa dengan geometri lambung yang mirip akan membuat sistem ombak yang sama. Dengan mempelajari perbandingan kurva hambatan spesifik antara model dengan kapal, Froude memperhatikan bahwa hambatan model selalu lebih besar daripada kapal. [1]

Sebelumnya, model awal yang digunakan pada penelitian ini telah dilakukan kalkulasi hambatan menggunakan Metode Holtrop. Metode Holtrop yang digunakan pada validasi model awal mengungkapkan bahwa metode ini merupakan pengembangan dari metode sebelumnya, dan hanya menambahkan perhitungan yang mengikutsertakan beberapa faktor, sehingga juga berperan penting dalam tahanan total. [6]

Tabel 1. Hambatan pada model awal

NO	Vs		Rtot
	knot	m/s	
1	10	5,14	88027,0466
2	15	7,71	188053,979
3	20	10,28	325674,18
4	25	12,85	486204,417
5	30	15,42	708328,422
6	38	19,532	1129820,48

2.2 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah sebuah metode yang digunakan untuk melakukan kalkulasi aliran fluida dinamik dalam bentuk simulasi. Simulasi CFD sendiri dapat digunakan untuk semua yang memiliki aliran fluida yang bergerak, seperti gesekan air laut dengan badan kapal, hingga angin yang mengalir melewati sudu-sudu pada turbin angin.

Model HSC yang telah dibuat akan di simulasikan menggunakan metode transien dengan menggunakan dua fluida yang melewati domain solid.

Hasil dari simulasi CFD menggunakan *SimericsMP+* yaitu berupa data-data integral yang dapat dibaca dan diartikan oleh orang-orang yang telah mendapat pelatihan pengoperasiannya. Pada

MarineCFD, output dari simulasi tersebut berupa integral yang didalamnya berisi tentang informasi mengenai hambatan kapal, *pitch*, *heave*, *velocity*, dan data-data lainnya yang dapat di kalkulasikan berdasarkan persamaan fluida mekanika.[7]

2.3 Wave-Piercing Hull

Wave-Piercing Hull merupakan jenis lambung yang memiliki bagian depan yang sangat halus, sehingga memiliki gaya apung yang sangat baik. *Wave-Piercing hull* umumnya diaplikasikan pada HSC untuk mengurangi hambatannya, karena HSC memiliki kecepatan di atas kapal konvensional.

Wave-Piercing sendiri terdiri atas banyak jenis, dan bisa diterapkan pada lambung tunggal, katamaran, hingga trimaran. Pada tugas akhir ini, beberapa jenis *wave-piercing* akan dimodelkan dan disimulasikan menggunakan CFD untuk mencari jenis pemecah gelombang yang memiliki hambatan terkecil jika diterapkan pada HSC MV. Saint John Paul II. Terdapat beberapa jenis variasi *wave-piercing* yang akan di terapkan pada penelitian ini.

2.3.1 Symmetric Wave-Piercing Catamaran

MV. Saint John Paul II yang dijadikan referensi pada tugas akhir ini memiliki lambung berjenis *symmetric wave-piercing catamaran*. Maksud dari jenis lambung ini adalah bentuk kedua lambungnya meruncing kedepan dengan bentuk simetris antara lambung bagian dalam dan bagian luarnya.

2.3.2 Axe Bow

Axe bow merupakan salah satu jenis lambung kapal tunggal atau *mono hull* yang sering diaplikasikan sebagai kapal cepat. Lambung pada *axe bow* berbentuk vertikal dengan profil yang menyempit pada bagian depannya, sehingga tampak seperti kapak. Menurut penelitian yang telah dilakukan [5], lambung berbentuk *Axe bow* memiliki nilai hambatan yang lebih kecil dibandingkan dengan model lambung kapal *planning hull chine*, dan dapat mereduksi hambatan total pada kecepatan maksimum. [5]

2.3.3 Raked Bow

Jenis lambung ini merupakan jenis lambung yang paling umum digunakan untuk segala jenis kapal. *Raked bow* memiliki sudut tertentu yang didesain sesuai dengan ukuran utama kapal serta penggunaan kapalnya. Umumnya, *raked bow* hanya berbentuk lurus dari bagian terdepan lambung bagian atas hingga bagian bawah, dengan sudut tertentu. Namun untuk pengaplikasian pada kapal cepat, lambung bagian bawah akan dimodifikasi membentuk pemecah ombak agar dapat mengurangi hambatan yang diterima lambung.

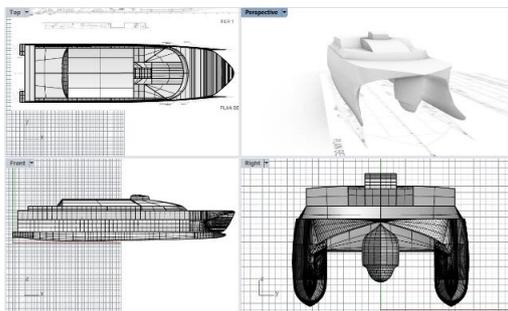
Gelombang yang dihasilkan jenis lambung ini pada kecepatan konstan di air tenang bisa dikategorikan sebagai gelombang halus. Pengelompokan tersebut diatur dalam empat

parameter utama; tinggi sarat, sudut masuk gelombang di bawah garis air, sudut masuk gelombang di atas garis air, serta sudut *rake*. [3]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Kapal

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari *research visiting program* di *National Taiwan University* yang dilaksanakan pada tahun 2019. Model yang dihasilkan selama *research visiting program* digunakan sebagai referensi dan model awal penelitian ini, yang kemudian akan diterapkan variasi pada bentuk *wave-piercing* model tersebut. Berikut merupakan data kapal yang digunakan:



Gambar 1. Model awal

Tabel 2. Data ukuran kapal

LoA	110,6 m
LWL	101,9 m
B	28,2 m
B of Hull	5,4 m
Draft	4,35 m
Speed	38 knot
Displ.	2400 tonnes

Selain itu, juga didapatkan hasil simulasi CFD. Hasil akhir menunjukkan nilai hambatan yang diterima model pada kecepatan 38 knot dan pada detik ke-120 adalah sebesar 1131,7176 kN, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil tersebut sudah memenuhi target *error* validasi di bawah 5%, dengan dibandingkan nilai perhitungan hambatan metode Holtrop yang memiliki hambatan sebesar 1129,82048 kN pada kecepatan 38 knot. Rasio perbedaan antara kedua hasil tersebut adalah 0.8%, serta nilai hambatan model lebih besar daripada kapal sesuai dengan penelitian dari Froude. Maka dapat disimpulkan bahwa nilai hambatan yang ditunjukkan oleh simulasi model kapal menggunakan simulasi CFD sudah sesuai. [1]

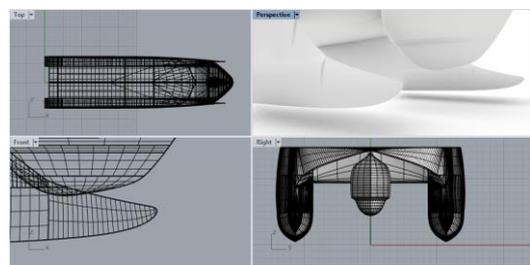
Tabel 3. Halaman akhir hasil simulasi CFD model awal

Time	Resist.	Heave	Pitch	Velocity
118	1.13E+06	-0.0757	0.015143	38
118.2	1.13E+06	-0.0757	0.015144	38
118.4	1.13E+06	-0.0758	0.015144	38
118.6	1.13E+06	-0.0758	0.015144	38
118.8	1.13E+06	-0.0758	0.015145	38

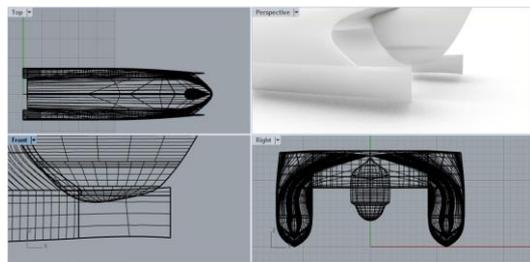
119	1.13E+06	-0.0758	0.015145	38
119.2	1.13E+06	-0.0758	0.015146	38
119.4	1.13E+06	-0.0759	0.015147	38
119.6	1.13E+06	-0.0759	0.015147	38
119.8	1.13E+06	-0.0759	0.015148	38
120	1.13E+06	-0.0759	0.015149	38

3.2 Model Kapal

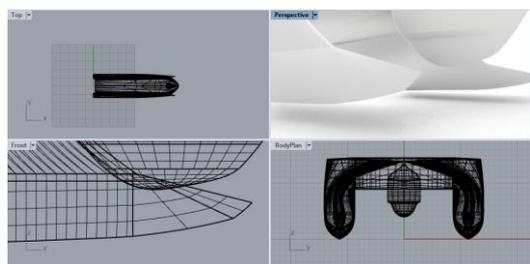
Pada penelitian ini akan diterapkan dua jenis variasi *wave-piercing* pada model awal kapal. Pada proses pemodelan, bentuk lambung utama kapal tidak dirubah, melainkan hanya merubah bentuk haluannya saja, dan hanya digambar sampai *main deck* saja, sehingga tidak mempengaruhi hidrostatik dan stabilitas awal kapal yang telah divalidasi sebelumnya.



(a)



(b)



(c)

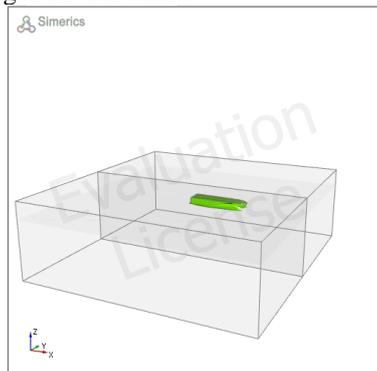
Gambar 2. (a) s/d (c) berturut-turut: Model kapal *original*, Model kapal *axe bow*, dan Model kapal *raked bow*

3.3 Simulasi CFD

Setelah semua model selesai dibuat dan telah melalui tahap pengecekan kualitas model, model yang telah di *post-process*, di-*running* menggunakan *software* CFD dengan jenis simulasi transien. *Set up* dan *boundary condition* dibuat sama dengan proses

validasi awal. Berikut merupakan *boundary condition set up*:

1. Jarak *inlet* (sisi depan) terhadap model adalah 1 L.
2. Jarak *outlet* (sisi belakang) terhadap model adalah 2L.
3. Fluida yang mengalir di bawah garis air adalah air laut dengan asumsi memiliki suhu ruang 25°C dengan tekanan 1 atm.
4. Fluida yang mengalir di atas garis air adalah udara dengan asumsi memiliki suhu ruang 25°C dengan tekanan 1 atm.
5. Pengaruh gravitasi diperhitungkan sebesar 9.81 m/s negative sumbu Z.
6. Air dan udara diasumsikan bergerak dari *inlet* menuju *outlet* dengan kecepatan maksimal 38 Knot, dan bergerak secara transien.
7. Sisi atas domain didefinisikan sebagai kondisi *opening* karena simulasi merupakan *open water test*, sehingga tidak memiliki tekanan.
8. Kondisi model diasumsikan sebagai *no slip condition* sehingga model dapat berinteraksi dengan air dan udara.



Gambar 3. *Boundary condition*

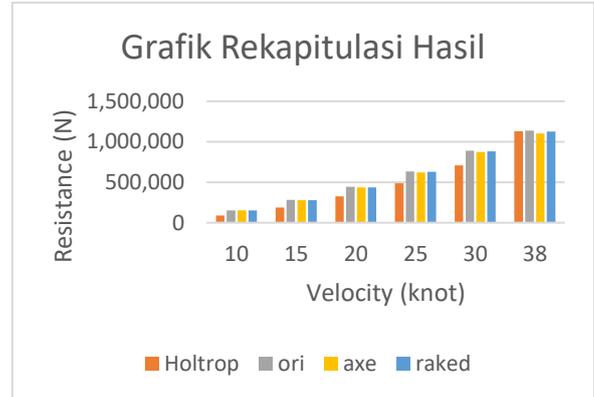
Untuk proses *meshing*, total *mesh* adalah 4 juta elemen untuk masing-masing model, dan nilai batas konvergensi adalah sebesar 10e-5.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil simulasi CFD

Model	Vel	Disp	Draft	Pitch	Heave	Resist.
	(knot)	(ton)	(m)	(Rad)	(m)	(kN)
Ori-Bow	38	2339	4.359	0.01529	0.8403	1137.720
Axe Bow	38	2339	4.349	0.01518	0.816	1101.060
Raked Bow	38	2339	4.344	0.0152	0.854	1126.350

Setelah proses simulasi CFD selesai, kemudian hasil dari masing-masing model dibandingkan untuk mencari model dengan nilai hambatan terkecil. Dapat dilihat pada Tabel 4. di atas bahwa jenis *bow* berbentuk *axe* memiliki nilai hambatan terkecil, yakni sebesar 1101,06 kN, lalu diikuti oleh *raked bow* dengan nilai hambatan sebesar 1126,35 kN, dan yang terbesar adalah model *bow* asli, yaitu sebesar 1137,73 kN. Sedangkan nilai *pitch* dan *heave* tidak

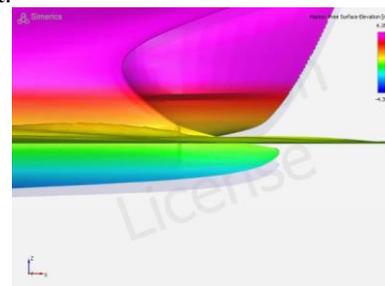
mengalami banyak perubahan, sehingga membuktikan bahwa nilai stabilitas kapal tidak terpengaruh oleh perubahan variasi pemecah gelombang. *Pitch* sendiri merupakan besar sudut angkat haluan kapal dihitung dari titik nol center of gravity-nya, dan berotasi terhadap sumbu-z. Sedangkan *heave* merupakan nilai gerak kapal menuju sumbu-y *negative*, dihitung dari garis batas air.



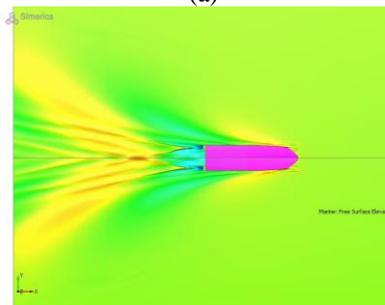
Gambar 4. Grafik rekapitulasi hasil simulasi

Dengan dibuatnya grafik perbandingan antara ketiga model seperti pada Gambar 4, terlihat lambung dengan penerapan haluan berbentuk *axe* memiliki hambatan paling kecil diantara bentuk haluan lainnya pada kecepatan akhir 38 knot, dengan ditunjukkan dengan diagram batang berwarna kuning.

Selain nilai hambatan, juga diperoleh visualisasi dari *wave pattern* atau pola gelombang dan *pressure contour* atau kontur tekanan yang diterima lambung pada masing-masing jenis *bow*. Visualisasi pola gelombang dan kontur tekanan yang diterima lambung diambil pada detik ke-120 pada kecepatan 38 knot.



(a)

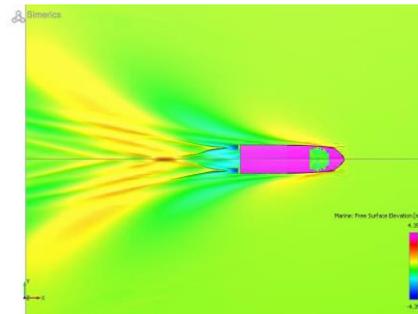


(b)

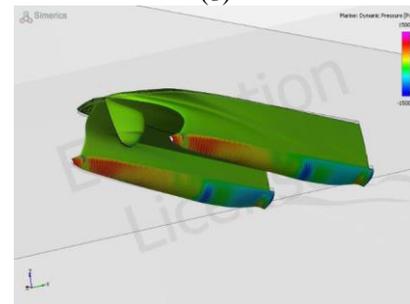


(c)

Gambar 5. (a) s/d (c) berturut-turut: *Wave-pattern* tampak samping, *wave-pattern* tampak atas dan *Pressure contour* pada model *Original bow*



(b)

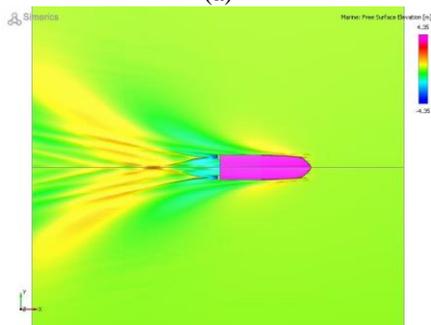


(c)

Gambar 7. (a) s/d (c) berturut-turut: *Wave-pattern* tampak samping, *wave-pattern* tampak atas dan *Pressure contour* pada model *Raked bow*



(a)

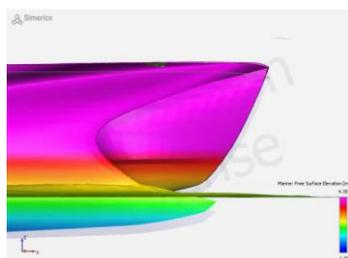


(b)

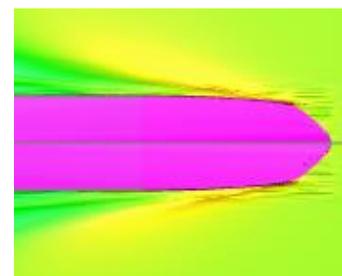


(c)

Gambar 6. (a) s/d (c) berturut-turut: *Wave-pattern* tampak samping, *wave-pattern* tampak atas dan *Pressure contour* pada model *Axe bow*



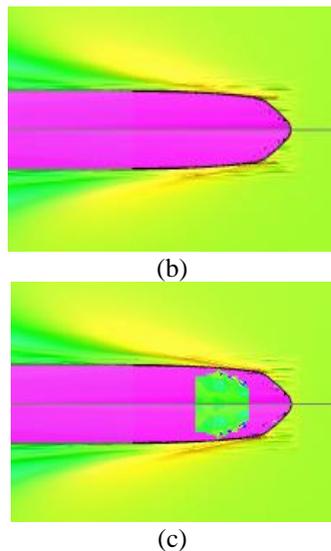
(a)



(a)

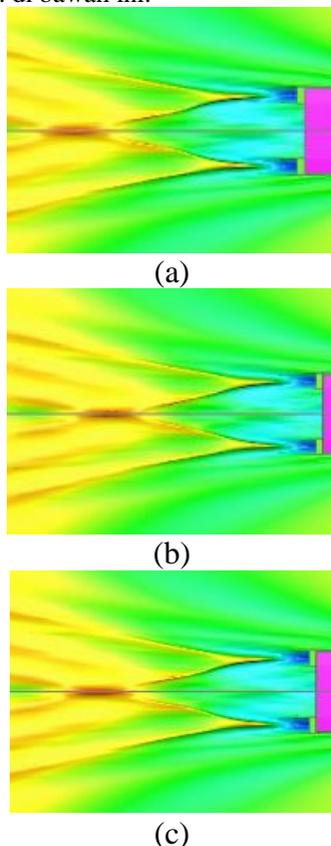
Pada Gambar 5 s/d Gambar 7 di atas, terlihat lambung mengalami tekanan lebih besar pada bagian haluan hingga bagian tengah, sedangkan bagian tengah hingga buritan mendapat lebih sedikit pressure. Hal ini dikarenakan kapal melaju pada kecepatan tinggi, sehingga ombak yang masuk dari haluan telah terpecah setelah mengalami benturan dengan *bow*. Hal itu yang menyebabkan bagian tengah lambung minim mendapat tekanan dari ombak.

Perbedaan pola gelombang dari ketiga model yang telah di simulasikan tidak terlalu mencolok karena geometri lambung utama tidak mengalami perubahan, melainkan hanya pada bagian haluannya saja. Namun terdapat sebuah perbedaan pada pola gelombang yang menyebar setelah menabrak bagian haluan kapal. Dapat dilihat pada Gambar 8. di bawah ini, bahwa kontur berwarna kuning pada sisi haluan lebih banyak terlihat dan cenderung berwarna kuning gelap pada model *original bow*, sedangkan pada model *axe bow*, kontur warna kuningnya terlihat lebih sedikit.



Gambar 8. (a) s/d (c) Pola gelombang haluan original bow, axe bow & raked bow

Sedangkan pola gelombang pada bagian buritan, pada bagian tengah yang sejajar dengan *center line*, pada *raked bow* terlihat memiliki gelombang sedikit lebih tinggi, ditunjukkan dengan kontur berwarna coklat yang lebih banyak dibandingkan dengan kedua model lainnya. Sedangkan *axe bow* memiliki kontur berwarna coklat yang paling sedikit, dan dapat dilihat pada Gambar 9. di bawah ini.



Gambar 9. (a) s/d (c) Pola gelombang buritan original bow, axe bow & raked bow

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dari penelitian yang telah dilakukan, dapat di tarik kesimpulan, yaitu :

Dari hasil simulasi CFD yang dilakukan pada kecepatan transien 38 knot, didapatkan bentuk *wave-piercing* yang memiliki hambatan total terkecil, yaitu pada model *axe bow* dengan nilai hambatan total sebesar 1101,06 kN. Perubahan pada nilai hambatan dengan penerapan variasi *wave-piercing* tidak terlalu signifikan karena geometri lambung utama tidak berubah, tetapi penerapan variasi tersebut terbukti menghasilkan hambatan yang lebih kecil daripada model original karena perbedaan sudut gelombang yang masuk. Pola gelombang yang dihasilkan juga sedikit menunjukkan perbedaan pada bagian sisi haluan dan bagian belakang kapal yang sejajar dengan *centre line*.

5. PUSTAKA

- [1] Carlton, J. (2018). Marine Propellers and Propulsion 4th Edition. In Marine Propellers and Propulsion (Vol. 0, Issue 0).
- [2] Kadarisman, M., Yuliantini, Y., & Majid, S. A. (2017). Formulasi Kebijakan Sistem Transportasi Laut. Jurnal Manajemen Transportasi Dan Logistik, 3(2), 161.
- [3] Noblesse, F., Delhommeau, G., Yang, C., Kim, H. Y., & Queutey, P. (2011). Analytical bow waves for fine ship bows with rake and flare. Journal of Ship Research, 55(1), 1–18.
- [4] Oni, R. (2015). Analisa Pengaruh Bentuk Lambung Axe Bow Pada Kapal High Speed Craft Terhadap Hambatan Total. Kapal, 12(2), 78–87.
- [5] Sugianto, E., & Winarno, A. (2018). Computational Model Tahanan Kapal Untuk Menentukan Kebutuhan Daya Kapal Bulk Carrier 8664 Dwt. Jurnal Kelautan: 70 Indonesian Journal of Marine Science and Technology, 10(2), 168.
- [6] Zulqurna, R., Santoso, M., & Julianto, E. (2018). Analisa Pengaruh Variasi Bentuk Buritan Kapal Terhadap Hambatan Total Pada Kapal Twin Screw Propeller Menggunakan Metode CFD. Proceeding 1st Conference on Marine Engineering and Its Application.
- [7] Simerics. (n.d.). Simerics. <https://www.simerics.com/simerics-mp-for-marine/>