

STUDI VARIASI MODEL SKEG BERDASARKAN TAHANAN DAN POLA ALIRAN YANG MELEWATI LAMBUNG BARGE BERPENGGERAK SENDIRI

— Kasus pada Desain Wahana Pembongkaran ALPO —

Study of Skeg Models Variation Based on Resistance and Flow Pattern on the Hull of Self Propulsion Barge

Widodo¹, Ahmad Yasim², Rina¹ dan Abdul Ghofur³

¹Balai Teknologi Hidrodinamika – BPPT, Surabaya

²Pascasarjana Teknik Kelautan – FTK ITS, Surabaya

³Pusat Teknologi Industri Maritim – BPPT, Surabaya

Email: widodo@bppt.go.id

Diterima: 1 Oktober 2018; Direvisi: 5 November 2018; Disetujui: 10 Desember 2018

Abstrak

Aliran yang melewati lambung kapal dari ujung haluan hingga ke belakang buritan kapal selalu menghasilkan *wake* yang merupakan perbedaan antara kecepatan kapal dan kecepatan air yang melalui propeler. *Skeg* adalah salah satu komponen buritan yang bertujuan menjaga stabilitas kapal saat kapal melaju pada kecepatan tinggi serta membantu fluida mengalir lebih *smooth* melewati *hull* dan propeler kapal. Desain model *skeg* perlu direncanakan dengan baik karena jika tidak sesuai maka justru akan menghambat kinerja propeler. Penelitian ini menganalisa empat kondisi model *skeg* dengan pertimbangan *resistance barge* dan bentuk pola aliran yang ditimbulkan. Analisa *resistance barge* menggunakan *Maxsurf* dan pemodelan pola aliran menggunakan program *computational fluid dynamics* (CFD) dimana nilai *resistance barge* lebih kecil pada saat menggunakan *skeg* kondisi dua dan empat yaitu 93,42 kN dan 97,43 kN. Untuk mengetahui desain model *skeg* yang optimal, maka kondisi dua dan empat selanjutnya dipilih berdasarkan pola aliran dimana kecepatan aliran pada kondisi dua adalah 1,82 m/s lebih besar dari kecepatan aliran pada kondisi empat yaitu 1,68 m/s. Berdasarkan hasil analisis tahanan kapal dan pola aliran maka disimpulkan bahwa desain yang paling optimal adalah *skeg* kondisi dua.

Kata kunci: *skeg*, *resistance*, pola aliran, *barge*

Abstract

The flow that passes through the hull from bow to stern always produces a wake which is the difference between the ship velocity and advance velocity/speed of water through propeller. Skeg is a component of stern which aims to keep the course stability when the ship moves at high speed and moreover to direct the fluid flows smoothly through the stern and ship propeller. Skeg needs to be well designed to avoid flow interference of propeller performance. This study analyzes 4 conditions of skeg model with consideration both ship resistance and flow patterns generated. Barge resistance was analyzed using

Maxsurf and flow pattern using Computational Fluid Dynamics (CFD) program and result 2 lower ship resistance value when using skeg condition 2, 93.42 kN and skeg condition 4, 97.43 kN. For getting optimal design, model 2 and model 4 are considered depends on flow pattern where the flow velocity in model 2 is 1.82 m/s greater than the flow velocity in model 4 which is 1.68 m/s. Depends on result of vessel resistance and flow pattern analysis, it was concluded that the most optimal design was the skeg condition 2.

Keywords: *skeg, resistance, flow patterns, barge*

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju diharapkan dapat menjadi solusi terhadap berbagai masalah kompleks yang dijumpai dalam industri perkapalan. Penerapan ilmu mekanika fluida dalam analisa aliran yang melewati suatu benda menggunakan program *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Setiap aliran yang melewati badan kapal dari ujung haluan hingga ke bagian buritan kapal selalu menghasilkan arus ikut/*wake* (*w*) yang merupakan perbedaan antara kecepatan kapal dengan kecepatan air yang melalui baling-baling (Harvald, 1983). Fraksi arus ikut Taylor mengenalkan kecepatan arus ikut sebagai fraksi dari kecepatan kapal, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan berikut.

$$W = 1 - \left(\frac{V_a}{V_s} \right) \quad (1)$$

Wake inilah yang akan menyebabkan besar *velocity advance* (V_a) akan selalu lebih kecil dari besar *velocity service* (V_s). Semakin besar *wake* yang terjadi akan mengakibatkan V_a akan menjadi lebih kecil. Dengan V_a yang semakin kecil maka daya yang diperlukan untuk mendorong kapal/*thrust* (T) agar mencapai kecepatan yang diinginkan akan menjadi lebih besar.

Menurut Dwitara, dkk. (2013), *skeg* adalah bentuk modifikasi yang diberikan pada bagian buritan kapal (semacam sirip) yang bertujuan untuk menjaga stabilitas kapal saat kapal melaju pada kecepatan tinggi serta membantu fluida mengalir lebih *smooth* melewati *hull* dan *propeller after*. Selain itu, *skeg* juga berfungsi sebagai penopang poros sehingga poros menjadi lebih aman terhadap kemungkinan bengkok saat berputar pada putaran tinggi (Slade, 1998).

Pada umumnya, jenis *barge* menggunakan *skeg* pada bagian buritan kapal untuk membuat aliran fluida lebih *smooth*. Pada pengaplikasiannya, bentuk *skeg* tidak hanya berbentuk lurus membujur badan kapal

(konvensional) namun juga terdapat beberapa variasi *skeg* dengan berbagai pertimbangan untuk mendapatkan aliran fluida yang diinginkan serta tahanan tambahan kapal yang dapat diminimalkan. Dalam paper ini akan dibahas pengaruh bentuk *skeg* pada *barge* terhadap pola aliran (arus ikut) yang dihasilkan serta perbandingan tahanan yang dihasilkan dari beberapa variasi bentuk *skeg*.

TINJAUAN PUSTAKA

Skeg

Skeg adalah salah satu bentuk modifikasi yang diberikan pada bagian buritan kapal (semacam sirip) yang bertujuan untuk membantu fluida mengalir lebih *smooth* melewati lambung kapal. Pada umumnya *skeg* dibagi menjadi dua jenis, pertama adalah jenis *skeg* yang ditempatkan *inboard* dengan *shaft propeller*, *skeg* jenis ini mempunyai dua fungsi yaitu untuk menyangga *shaft*, juga untuk memperlancar aliran fluida. Yang kedua adalah *skeg* yang ditempatkan *outer shaft*, *skeg* ini akan lebih efektif dalam mengatur aliran fluida agar lebih *smooth* menuju propeler (Dwitara, dkk., 2013)

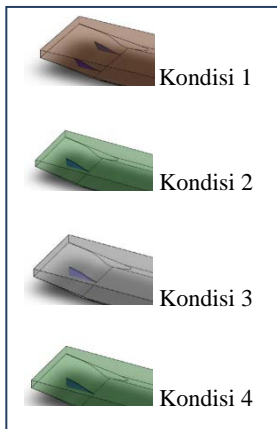
Lebih lanjut Dwitara, dkk. (2013) menguraikan bahwa tujuan *barge* menggunakan *skeg* pada bagian buritan kapal untuk membuat aliran fluida menjadi lebih *smooth*. Pada pengaplikasiannya, model *skeg* tidak hanya sebatas bentuk lurus membujur badan kapal (konvensional), namun juga ada bentuk variasi *skeg* yang dibengkokkan untuk mendapatkan aliran fluida yang diinginkan.

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah mengetahui pola aliran fluida yang terjadi akibat perubahan bentuk *skeg*, mengetahui variasi *resistance* aliran akibat perubahan bentuk *skeg*, mendapatkan nilai *resistance barge* terhadap perubahan bentuk *skeg*.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah mendapatkan desain dan posisi *skeg* optimal pada objek penelitian yaitu *self propulsion barge* ukuran

101 meter serta hasil penelitian dapat menjadi pertimbangan perencanaan dalam inovasi teknologi wahana pelepasan ALPO tipe *barge*, kegiatan PTRIM-BPPT.

Pada Gambar 1 ditampilkan ilustrasi model *skeg* yang terpasang pada model *self propulsion barge* sebagai berikut:



Gambar 1. Posisi *skeg* yang terpasang di *barge*

Tahanan Kapal

Tahanan kapal merupakan ilmu yang mempelajari reaksi fluida akibat gerakan kapal yang melalui fluida tersebut. Dalam istilah hidrodinamika kapal, tahanan adalah besarnya gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut.

Menurut ITTC (*International Towing Tank Conference*) tahanan kapal dibagi menjadi beberapa komponen seperti tahanan gesek (R_F), tahanan sisa (R_R), tahanan viskos (R_V), tahanan tekanan (R_P), tahanan tekanan viskos (R_{PV}), tahanan gelombang (R_W), tahanan pemecahan gelombang (R_{WB}), tahanan semprotan (R_S), tahanan anggota badan (*appendage resistance*), tahanan kekasaran (*intermental resist resistance*) dan tahanan udara (*air resistance*).

Berikut prosedur perhitungan tahanan kapal dengan metode Holtrop (Holtrop dan Mannen, 1982):

- a. Prediksi tahanan kapal (R_T).

$$R_T = R_f \cdot (1 + k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (2)$$

- b. Perhitungan panjang bagian kapal yang mengalami hambatan langsung (*length of run*) ditentukan dengan formula:

$$LR = Lwl \left\{ 1 - Cp + \frac{(0.06.Cp.\%LCB)}{4Cp-1} \right\} \quad (3)$$

- c. Perhitungan harga faktor lambung ($1+k_1$). Faktor lambung yang memperlihatkan hubungan tahanan viskos bentuk lambung dengan tahanan gesek yang diformulasikan berikut:

$$(1 + k_1) = 0.93 + 0.487118 \left(\frac{B}{Lwl} \right)^{1.06806} \cdot \left(\frac{T}{Lwl} \right)^{0.46106} \cdot \left(\frac{Lwl}{LR} \right)^{0.121563} \cdot \frac{\left(\frac{Lwl^3}{V} \right)^{0.3486}}{(1 - Cp)^{0.604247}} \quad (4)$$

- d. Perhitungan hambatan gesek (R_F) dapat ditentukan dengan formula:

$$R_F = C_F \times 0.5 \times \rho \times S \times V_s^2 \quad (5)$$

- e. Perhitungan harga bagian tambahan ($1+k_2$) ditentukan dengan formula:

$$(1 + k_2)_{eq} = \frac{\sum(1+k_2)S_{APP}}{\sum S_{APP}} \quad (6)$$

dimana harga E1 dan harga E2 ditentukan berdasarkan tabel berikut:

Tabel 1. Faktor penambahan berdasarkan properti buritan kapal

Bagian	Ada = 1, tidak = 0	Faktor	Produk
Konvensional stem dan kemudi		1,5	
Kemudi dan skeg		2	
Kemudi kembar		2,8	
Y Braket		3	
Skeg		2	
Shaft Bossing		3	
Shell Bossing		2	
Shaft telanjang		4	
Sirip Bilga		2,8	
Dome		2,7	
Lunas Bilga		1,4	
	$\Sigma 1$		$\Sigma 2$

- f. Perhitungan harga bagian tambahan (R_{AP}) dapat ditentukan dengan formula:

$$R_{AP} = \frac{\rho}{2} V_s^2 A_s C_f (1 + k_2) \quad (kN) \quad (7)$$

- g. Perhitungan tahanan akibat hambatan gelombang (R_w) dapat dihitung dengan formula:

$$R_w = C_1 C_2 P_S \nabla \rho g e^{\left(\frac{M_1}{F_0^2} \right) + \left(M_2 \cos \left(\frac{\lambda}{F_0^2} \right) \right)} \quad (kN) \quad (8)$$

- h. Perhitungan tahanan tekanan tambahan dari haluan gembung dekat permukaan air (R_B) dapat dihitung dengan formula:

$$R_B = 0.11 \rho g \left[\frac{ABT^2}{e^2 P_b^3} \right] \left[\frac{F_n i^3}{(1 + F_n)^2} \right] \quad (kN) \quad (9)$$

- i. Perhitungan tekanan tambahan akibat adanya *transom* yang terbenam (R_{TR}) dapat dihitung dengan formula:

$$R_{RT} = 0.5\rho V^2 A_T C_6 \quad (\text{kN}) \quad (10)$$

- j. Perhitungan tahanan akibat korelasi model kapal (R_A).

$$R_A = 0.5\rho V^2 S C_A \quad (\text{kN}) \quad (11)$$

- k. Perhitungan daya efektif (P_E).

$$P_E = R_T V_s \quad (\text{kW}) \quad (12)$$

Aliran Fluida

Fluida adalah suatu zat yang dapat mengalir bisa berupa cairan atau gas. Aliran dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis yaitu aliran turbulen, laminar dan transisi. Pengertian dari jenis aliran tersebut akan dijelaskan di bawah ini.

- a. Aliran laminar

Merupakan aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dan arah arusnya. Sifat kekentalan zat cair berperan penting dalam pembentukan aliran laminar. Aliran laminar bersifat *steady* maksudnya aliran bersifat tetap yang menunjukkan bahwa di seluruh aliran air, debit alirannya tetap atau kecepatan aliran tidak berubah menurut waktu.

- b. Aliran turbulen

Kecepatan aliran yang relatif besar akan menghasilkan aliran yang tidak laminar melainkan kompleks, lintasan gerak partikel saling tidak teratur antara satu dengan yang lain. Untuk membedakan aliran apakah turbulen atau laminar menggunakan angka Reynolds (*Reynolds Number*) yang mana apabila angka *Reynolds* kurang dari 2000 maka aliran adalah laminar, sedangkan apabila angka *Reynolds* lebih besar dari 4000 maka aliran adalah turbulen. Sedang antara 2000 dan 4000 adalah aliran transisi, yang tergantung pada faktor-faktor lain yang mempengaruhi.

- c. Aliran transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen karena beberapa faktor yang mempengaruhi.

Pemodelan *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

CFD merupakan sistem analisis yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena yang terkait lainnya seperti reaksi kimia dengan

menggunakan simulasi komputer. Secara umum kerangka kerja CFD meliputi formulasi persamaan-persamaan *transport* yang berlaku, formulasi kondisi batas yang sesuai, pemilihan atau pengembangan kode-kode komputasi untuk mengimplementasikan teknik numerik yang digunakan. Secara umum program CFD digunakan untuk menyelesaikan persamaan *Navier-Stokes*.

Menurut (Ramm, 2019), persamaan *Navier-Stokes* adalah persamaan diferensial mendasar yang menggambarkan aliran fluida tak termampatkan. Dengan menggunakan laju tegangan dan tensor regangan, dapat ditunjukkan bahwa komponen-komponen F_j dari gaya viskositas yang tidak berotasi diberikan dengan persamaan berikut:

$$\frac{F_i}{v} = \left(\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\eta \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \lambda \delta_{ij} \nabla \cdot u \right) \right) \quad (13)$$

$$\frac{F_i}{v} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\eta \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \nabla \cdot u \right) + \mu B \delta_{ij} \nabla \cdot u \right) \quad (14)$$

Dimana η adalah angka viskositas dinamik, λ adalah angka koefisien viskositas kedua, δ_{ij} adalah *kroncker delta*, $\Delta \cdot \mu$ adalah divergensi, μB adalah viskositas curah dan simulasi Einstein juga digunakan untuk menjumlahkan $j = 1, 2$ dan 3 .

Persamaan (14) dan (15) digunakan untuk menentukan pola aliran *skeg*.

Suatu kode CFD terdiri dari tiga elemen utama yaitu *pre-processor*, *solver* dan *post-processor*.

- a. *Pre-processor*

Pre-processor meliputi masukan dari permasalahan aliran ke suatu program CFD dan transformasi dari masukan tersebut ke bentuk yang cocok digunakan oleh *solver*. Langkah-langkah dalam tahap ini adalah sebagai berikut:

- Pendefinisian geometri yang dianalisa;
- *Grid generation* yaitu pembagian daerah domain menjadi bagian-bagian lebih kecil yang tidak tumpang tindih. Keakuratan penyelesaian CFD ditentukan oleh jumlah sel dalam *grid*;
- Seleksi fenomena fisik dan kimia yang perlu dimodelkan;
- Pendefinisian properti fluida;
- Pemilihan *boundary condition* (kondisi batas) pada kontrol *volume* atau sel yang berhimpit dengan batas domain;
- Penyelesaian permasalahan aliran (kecepatan, tekanan, temperatur dan sebagainya) yang didefinisikan pada titik *nodal* dalam setiap sel.

b. *Solver*

Solver dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu *finite volume*, *finite element* dan metode *spectral*. Secara umum metode *numeric solver finite volume* terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

- Prediksi *variabel* aliran yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana;
- Diskretisasi dengan substitusi prediksi-prediksi tersebut menjadi persamaan-persamaan aliran utama yang berlaku dan kemudian melakukan manipulasi matematis;
- Penyelesaian persamaan aljabar. Pada proses *solver*, terdapat 3 persamaan atur aliran fluida yang menyatakan hukum kekekalan fisika, yaitu: 1) massa fluida kekal; 2) laju perubahan momentum sama dengan resultan gaya pada partikel fluida (Hukum II *Newton*); 3) laju perubahan energi sama dengan resultan laju panas yang ditambahkan dan laju kerja yang diberikan pada partikel fluida (Hukum I Termodinamika).

c. *Post-processor*

Post-processor merupakan tahap visualisasi dari tahapan sebelumnya. *Post processor* semakin berkembang dengan majunya *engineering work station* yang mempunyai kemampuan grafik dan visualisasi cukup besar. Alat visualisasi tersebut antara lain:

- Domain geometri dan *display*;
- Plot vektor;
- Plot kontur;
- Plot *surface* 2D dan 3D;
- *Practice tracking*;
- Manipulasi tampilan (translasi, skala);
- Animasi *display* hasil dinamik.

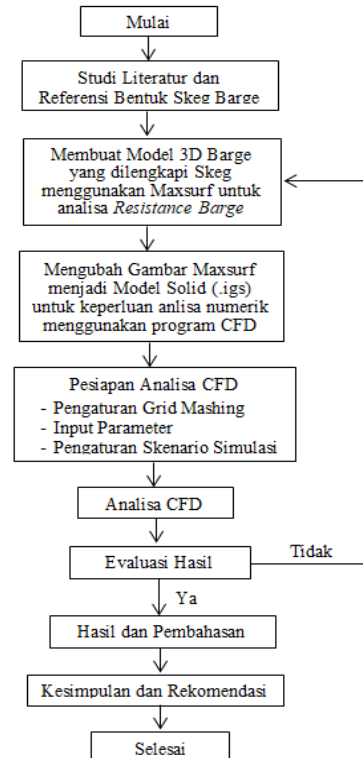
METODOLOGI

Dalam penelitian ini, pokok bahasan yang dianalisis akan dibatasi pada permasalahan berikut:

- a. Objek yang dianalisis adalah *self propulsion barge* dengan ukuran panjang 101 meter;
- b. Jumlah *skag* divariasikan antara lain satu unit (posisi *center*) dan 2 unit (posisi kanan-kiri);
- c. Analisis tahanan dan aliran fluida dilakukan pada empat variasi bentuk *skag*;
- d. Kecepatan aliran fluida yang disimulasikan adalah empat, lima, enam knot dan selebihnya diekstrapolasi;
- e. Analisis yang dilakukan melingkupi aliran fluida dan tekanan pada *skag* kapal tongkang;
- f. Material konstruksi diabaikan;

g. Analisis aliran fluida dan tekanan menggunakan pemodelan CFD.

Dalam melakukan studi literatur dan kajian bentuk *skag barge* ini dilakukan beberapa tahapan metodologi seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Secara singkat, tahapan diagram alir penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

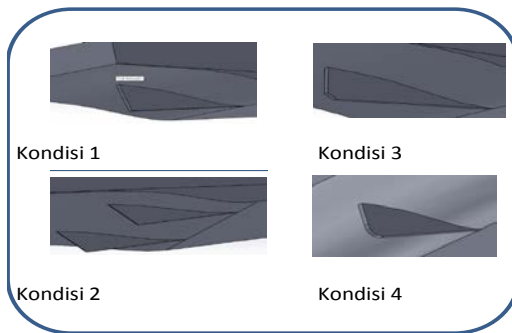
1. Melakukan studi literatur dan referensi bentuk *skag barge*;
2. Membuat model *barge* yang dilengkapi *skag* dengan menggunakan *Maxsurf* untuk menganalisa *resistance barge*;
3. Mengubah gambar *Maxsurf* menjadi model *solid* (format *.igs*) untuk keperluan pemodelan numerik menggunakan program CFD;
4. Persiapan analisa CFD yang meliputi pengaturan *grid meshing*, masukan parameter dan pengaturan skenario simulasi numerik;
5. Proses *running* analisa CFD;
6. Evaluasi hasil, dimana jika hasil kurang bagus atau terjadi kesalahan dalam proses simulasi maka dapat mengulangi progress sebelumnya. Namun, jika data yang diperoleh telah sesuai maka dapat dilanjutkan pada tahap selanjutnya;

7. Selanjutnya dilakukan pengolahan data hasil analisa *resistance barge* dan simulasi numerik CFD. Selanjutnya dalam tahapan ini dilakukan pembahasan hasil olahan data;
8. Kesimpulan.

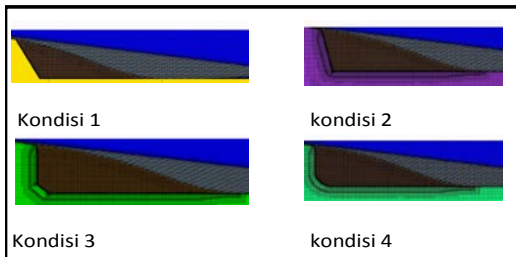
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa numerik dilakukan pada 4 kondisi model *skag barge* dengan beberapa variasi sebagai berikut:

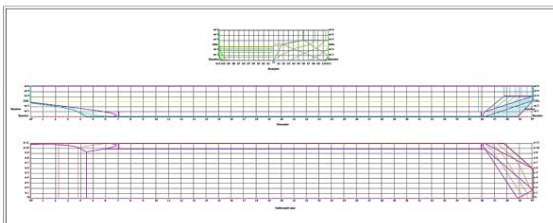
- Kondisi 1, mempunyai *surface area* sebesar 32.6 m²;
- Kondisi 2, mempunyai *surface area* sebesar 30.59 m²;
- Kondisi 3, mempunyai *surface area* sebesar 32.9 m²;
- Kondisi 4, mempunyai *surface area* sebesar 32.67 m².



Gambar 3. Variasi desain model *skag*



Gambar 4. Pengaturan *grid* dalam *meshing skag*



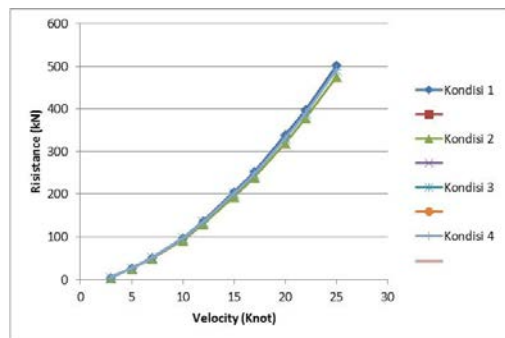
Gambar 5. *Lines plan self propulsion barge* wahana pembongkaran ALPO

Pada Gambar 5 ditampilkan gambar *lines plan barge* dengan ukuran panjang (*length between perpendicular*) 101 meter, sarat 4 meter, lebar 5 meter dan tinggi 8 meter.

Variasi bentuk *skag* yang menempel pada *barge* memiliki pengaruh terhadap nilai *resistance* kapal yang dihasilkan dari *Maxsurf Resistance Advanced*, yang mana nilai *resistance barge* yang dihasilkan akibat variasi bentuk *skag* pada buritan *barge* dapat dilihat pada Tabel 2 dan Grafik 1 berikut.

Tabel 2. *Resistance barge* dengan variasi model *skag* terhadap kecepatan kapal

Velocity vs Resistance_ Barge Removal ALPO				
Knot	Condition 1 Resistance KN	Condition 2 Resistance KN	Condition 3 Resistance KN	Condition 4 Resistance KN
3	4,89	5,88	5,62	5,62
5	27,39	26,36	27,12	27,15
7	52,39	50,07	51,80	51,94
10	98,29	93,42	97,25	97,43
12	138,4	131,16	135,76	136,07
15	206,56	194,67	202,33	202,55
17	254	240,98	248,88	249,37
20	339,83	320,57	331,99	332,29
22	399,2	379,52	391,17	391,83
25	502,56	475,74	492,48	492,82

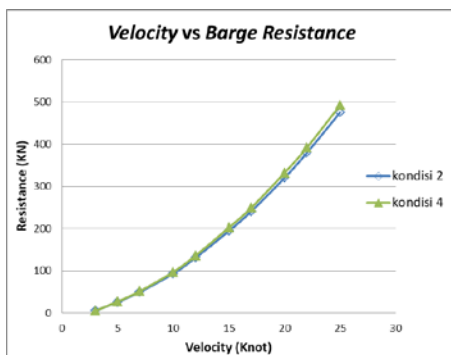


Grafik 1. Harga *resistance barge* terhadap kecepatan kapal pada kondisi 1,2, 3 dan 4

Pada Tabel 2 dan Grafik 1 dapat dilihat besaran tahanan model *barge* dengan beberapa variasi kecepatan dan bentuk *skag*. Dengan memperhatikan besaran *resistance* diketahui bahwa kondisi 2 mempunyai *resistance* yang lebih kecil dari pada 3 kondisi model *barge* lainnya, hal ini dikarenakan *resistance* berbanding lurus dengan besaran *surface area* dari *skag* pada model *barge*. Selain itu, besaran tahanan juga dapat dipengaruhi oleh desain model *skag* serta pola aliran yang melewati *skag* tersebut. Untuk lebih jelasnya dapat diperlihatkan pada Tabel 3 dan Grafik 2.

Tabel 3. Perbandingan *resistance* menggunakan *skeg* kondisi 1 dan kondisi 4

Velocity vs Resistance_Barge Removal ALPO		
Knot	Kondisi 2 Resistance KN	Kondisi 4 Resistance KN
3	5,88	5,62
5	26,36	27,15
7	50,07	51,94
10	93,42	97,43
12	131,16	136,07
15	194,67	202,55
17	240,98	249,37
20	320,57	332,29
22	379,52	391,83
25	475,74	492,82



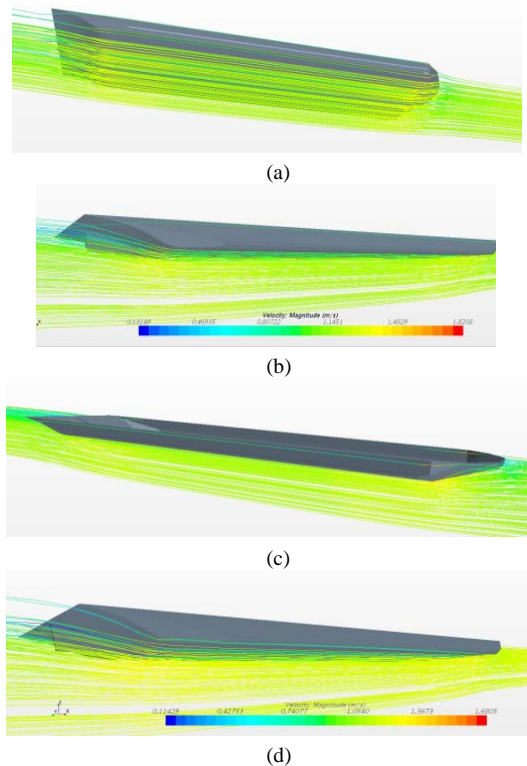
Grafik 2. Harga *resistance* barge menggunakan model *skeg* kondisi 2 dan kondisi 4

Dari hasil analisa *resistance* kapal diketahui bahwa model *skeg* kondisi 2 memiliki pengaruh paling kecil terhadap penambahan harga *resistance* total. Akan tetapi dalam pemilihan model *skeg* yang optimal, belum cukup hanya membandingkan dari sisi tahanan kapal namun perlu melihat pola aliran yang ditimbulkan karena sangat berdampak terhadap performa propeler. Untuk itu, dipilih dua kondisi yang memiliki *resistance* paling rendah yaitu kondisi 2 dan kondisi 4 untuk selanjutnya dimodelkan dengan CFD untuk mengetahui karakteristik aliran airnya.

Berikut adalah hasil pemodelan CFD pada lambung barge menggunakan model *skeg* kondisi 2 dan kondisi 4.

Pada Gambar 6 ditampilkan hasil pemodelan menggunakan metode CFD pada kondisi 2 dan kondisi 4, yang mana kecepatan aliran pada kondisi 2 adalah 1,82 m/s dan kecepatan aliran pada kondisi 4 adalah 1,68 m/s. Pola aliran yang diinginkan adalah memiliki kecepatan yang lebih besar agar tidak

menghalangi aliran air yang masuk ke propeler kapal. Untuk itu, berdasarkan analisa *resistance* dan pemodelan pola aliran, didapatkan model *skeg* optimal yaitu model *skeg* kondisi 2.



Gambar 6. Pola aliran yang melewati buritan barge dengan penambahan *skeg*; (a) Kondisi 1; (b) Kondisi 2; (c) Kondisi 3; dan (d) Kondisi 4

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisa tahanan kapal didapatkan nilai *resistance barge* yang lebih kecil pada saat menggunakan model *skeg* kondisi 2 dan kondisi 4 yaitu 93,42 kN dan 97,43 kN.
2. Untuk mendapatkan desain *skeg* optimal maka kondisi 2 dan kondisi 4 dipertimbangkan berdasarkan pola aliran menggunakan pemodelan CFD dimana kecepatan aliran pada kondisi 2 adalah 1,82 m/s lebih besar dari kecepatan aliran pada kondisi 4 yaitu 1,68 m/s.
3. Berdasarkan hasil analisa tahanan kapal dan pemodelan numerik pola aliran maka didapatkan bentuk yang paling optimal adalah *skeg* kondisi 2 karena memiliki *resistance* paling kecil dan

kecepatan aliran yang lebih besar dari kondisi 4, sehingga tidak mengganggu kinerja propeler kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ramm, A. G. (2019). Solution of the Navier–Stokes Problem. *Applied Mathematics Letters*, 87, pp. 160–164.
- Dwitara, I., Santoso, A. dan Amiadji. (2013). Analisa Aliran dan Tekanan pada Perubahan Bentuk *Skeg* Kapal Tongkang dengan Pendekatan CFD. *Jurnal Teknik Pomits*, Vol. 2 (1): 1-6.
- Harvald, Sv. Aa. (1983). *Resistance and Propulsion of Ships*. New York: John Wiley & Sons.
- Holtrop, J. dan Mannen, G. G. J. (1982). An Approximate Power Prediction Method. *International Shipbuilding Progress*, Vol. 29 (335): 166-170.
- Slade, Stuart. (1998). *Skeg Design*. Diakses pada 11 September 2018. http://www.navweaps.com/index_tech/tech-014.php.