



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Variasi Panjang Dan Jumlah Lunas Bilga Terhadap Hambatan, *Rolling* Dan *Wake* KM. Horas Nainggolan

Dhea Margaretha¹⁾, Parlindungan Manik¹⁾, Berlian Arswendo Adietya¹⁾

¹⁾Laboratorium Perencanaan Kapal dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : margarethadhea1@gmail.com , parlin1974@yahoo.com , berlianarswendokapal@gmail.com

Abstrak

KM. Horas Nainggolan adalah kapal pariwisata yang cukup aktif beroperasi di Danau Toba. Untuk menunjang operasi kapal, diperlukan peningkatan performa kapal salah satunya dalam aspek hambatan, wake fraction dan rolling pada kapal. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi jumlah, dimensi dan konfigurasi lunas bilga pada lambung kapal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai hambatan, wake fraction dan rolling dengan menggunakan software berbasis CFD. Dari hasil perhitungan hambatan diketahui bahwa pada Fr 0,32 dan Fr 0,40, kapal dengan lunas bilga 8 Meter 3 Pasang dan 8 Meter 2 Pasang paling optimal mengurangi hambatan sebesar 20-21% dan 13-14%. Dari hasil analisa wake fraction diketahui bahwa pada Fr 0,32 dan 0,40, kapal dengan lunas bilga 10 Meter 3 Pasang dan 8 Meter 3 Pasang dapat mengurangi nilai wake fraction paling optimal sebesar 62-63% dan 43-44%. Pada hasil analisa rolling dapat diketahui bahwa model kapal dengan lunas bilga 6 Meter 1 Pasang merupakan model kapal dengan nilai rolling paling kecil. Dari semua model yang ada model kapal dengan lunas bilga 8 Meter 3 Pasang dengan jarak 10 dan 20 cm antar lunas bilga yang paling tidak optimal dalam meningkatkan performa kapal.

Kata Kunci : KM. Horas Nainggolan, Lunas Bilga, Hambatan, Rolling, Wake Fraction

1. PENDAHULUAN

Keindahan Indonesia membuat wisatawan lokal dan wisatawan mancanegara berbondong-bondong untuk melihat bagaimana mempesonanya Indonesia, terutama salah satu danau di Sumatera Utara yaitu Danau Toba. Danau ini memiliki ± 1.130 km² dengan kedalaman ± 529 m dengan jenis danau vulkanik. Letak Danau Toba secara geografis di pegunungan Bukit Barisan Provinsi Sumatera Utara pada titik koordinat diantara 2021'32" – 2056'28" LU dan 980 26' 35" – 990 15' 40" BT[1]. Menurut data dari Badan Pusat Statistik, jumlah pengunjung pada tahun 2018 mencapai 12,1 juta wisatawan lokal dan 231,1 ribu wisatawan mancanegara[2]. Karena pesatnya kemajuan industri pariwisata di Danau Toba maka semakin dibutuhkannya alat transportasi. Kapal merupakan alat transportasi yang dibutuhkan di Danau Toba, kapal yang beroperasi di Danau Toba masih berupa kapal kayu yang tidak dibangun secara saintifik. Dalam pembuatan kapal

seharusnya juga memperhatikan faktor keselamatan. Namun, sering terjadinya kecelakaan di Danau Toba yang mengakibatkan memakan banyak korban jiwa, penyebab terjadinya kecelakaan mengarah kepada faktor alam Danau Toba. Maka dari itu, kapal yang beroperasi harus memadai dan memiliki performa yang baik. KM. Horas Nainggolan merupakan salah satu kapal yang aktif beroperasi di Danau Toba.

Usaha penelitian yang telah dilakukan sebelumnya adalah menganalisa performa kapal, yaitu hambatan, stabilitas di berbagai kondisi muatan, dan analisa olah gerak kapal [3]. Salah satu penelitian untuk meningkatkan performa kapal adalah dengan memasang lunas bilga dan diketahui bahwa lunas bilga dapat mengurangi nilai *rolling* [4]. Lunas bilga juga diketahui dapat mengurangi nilai hambatan dan *wake fraction* [5]. Berkurangnya nilai hambatan karena penurunan hambatan di lambung kapal lebih besar daripada kenaikan hambatan di lunas bilga [6].

Lunas bilga juga dapat memperbaiki aliran gelombang pada saat kapal melaju [7]. Peletakan lunas bilga dan juga panjang kapal dapat mempengaruhi pola aliran, *wake fraction* dapat dilihat disamping atau dibelakang kapal [8].

KM. Horas Nainggolan memiliki performa kapal yang baik. Penelitian performa yang dimaksud adalah ingin mengetahui nilai hambatan, *rolling* dan kecepatan aliran yang baik dan paling optimal dengan memodifikasi kapal dengan cara memasang lunas bilga di kedua sisi lambung kapal, khususnya untuk variasi panjang dan jumlah lunas bilga.

2. METODE

Pada penelitian difokuskan untuk meningkatkan performa KM. Horas Nainggolan dengan memasang lunas bilga pada lambung kapal. KM. Horas Nainggolan memiliki ukuran utama yang digunakan dalam penelitian ini. Ukuran utama dijabarkan pada tabel 1.

Dimensi	Keterangan
LPP	16,4 Meter
LWL	19,77 Meter
LOA	20 Meter
B	4,44 Meter
T	1,62 Meter
H	0,77 Meter
Vd	8,7 m/s

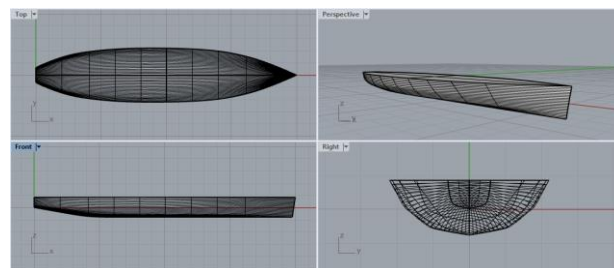
Modifikasi yang dilakukan adalah penambahan jumlah lunas bilga menjadi 1 pasang, 2 pasang dan 3 pasang serta panjang lunas bilga 6 meter, 8 meter dan 10 meter. Penelitian ini dilakukan dengan adanya variasi kecepatan 8,7 knot dan 10,875 knot, dengan Fr 0,32 dan 0,40. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Perencanaan Desain Kapal dibantu Komputer, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dengan menggunakan *software Tdyn 15.1.0* untuk menganalisis hambatan serta *wake fraction*, dan *software Maxsurf Motions* untuk menganalisis gerak *rolling* kapal. Metode ini dipilih karena tidak mengeluarkan banyak biaya, dan mampu mengakomodir struktur yang tidak memungkinkan dilakukan secara eksperimen.

2.1. Pembuatan Model Kapal Dan Lunas Bilga

Model KM. Horas Nainggolan yang dibuat dengan *software Maxsurf Modeler* dan kapal akan

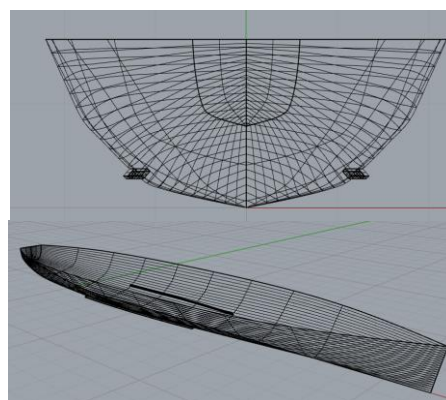
dimodifikasi menjadi kapal lunas bilga dengan menggunakan *Rhinoceros* versi 6.



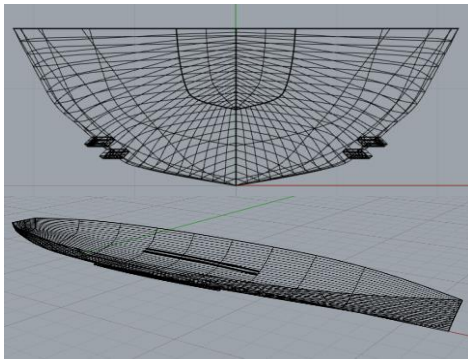
Gambar 1. Model Kapal Tanpa Bilga

Pada pembuatan model lunas bilga pertamanya harus menentukan ukuran lunas bilga. Penulis menggunakan ukuran lunas bilga dengan lebar 0,1 m dan dengan ketebalan 0,025 m, serta panjang lunas bilga yang digunakan 6, 8 dan 10 m pada penelitian ini.

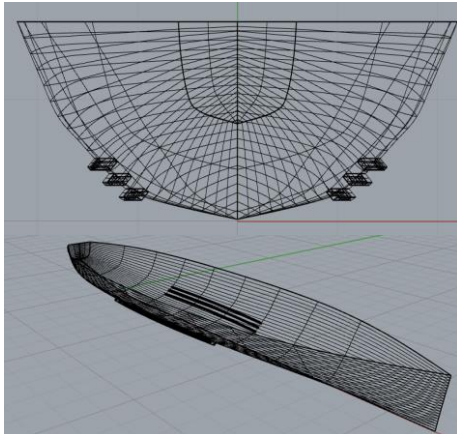
Model	Jumlah	Dimensi
Tanpa Lunas Bilga	Tanpa Lunas Bilga	-
Model 1	1 Pasang	6 Meter
Model 2	1 Pasang	8 Meter
Model 3	1 Pasang	10 Meter
Model 4	2 Pasang	6 Meter
Model 5	2 Pasang	8 Meter
Model 6	2 Pasang	10 Meter
Model 7	3 Pasang	6 Meter
Model 8	3 Pasang	8 Meter
Model 9	3 Pasang	10 Meter
Model 10	3 Pasang dengan jarak 10cm dan 20cm antar lunas bilga	8 Meter
Model 11	3 Pasang	6, 8, 10 Meter



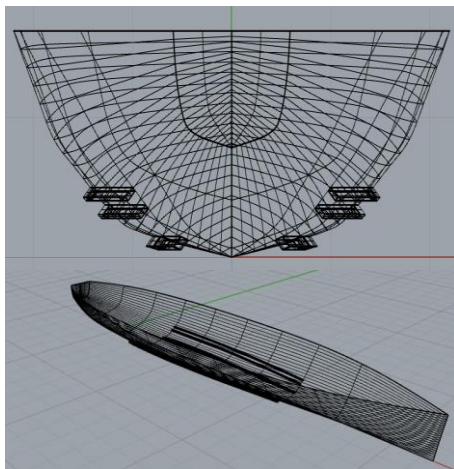
Gambar 2. Model 1



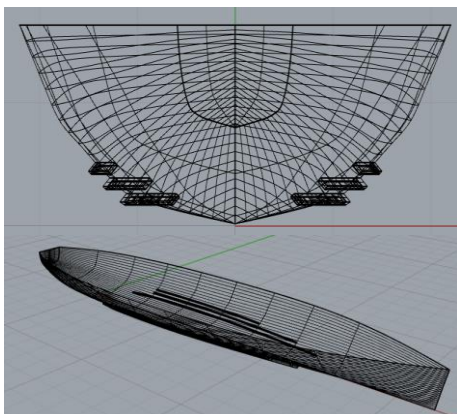
Gambar 3. Model 4



Gambar 4. Model 7



Gambar 5. Model 10



Gambar 6. Model 11

2.2. Analisis Gerak *Rolling* Kapal

Menurut penelitian lainnya pemasangan lunas bilga pada kapal dapat mengurangi nilai *rolling* karena nilai *roll damping* yang semakin besar. *Roll damping* yang semakin besar membuat berkurangnya RAO dan respon gerak kapal [9]. Maka diperlukan analisis gerak *rolling* kapal pada KM. Horas Nainggolan yang beroperasi di Danau Toba. Danau Toba memiliki tipe gelombang *The Bretschneider Spectrum*, spektrum ini terbagi menjadi 2 parameter yang memperbolehkan periode dan tinggi gelombang dimasukkan secara terpisah. Dalam menganalisa gerak *rolling* kapal dilakukan berdasarkan *General operability limiting criteria for ships (NORDFORSK)* dan *fishing vessels* [10]

Tabel 3. Kriteria NORDFORSK

<i>Phenomena</i>	<i>Kriteria NORDFORSK</i>	<i>Merchant Ship</i>
<i>Vertical acceleration at forward perpendicular (RMS Value)</i>		0,275g ($L \leq 100m$) 0,05g ($L \geq 300m$)
<i>Vertical acceleration at bridge (RMS Value)</i>		0,15g
<i>Lateral acceleration at bridge (RMS Value)</i>		0,12g
<i>Roll (RMS Value)</i>		6,0°

KM. Horas Nainggolan aktif beroperasi di Danau Toba dengan kecepatan dinas 8,7 Knot. Gelombang di Danau Toba memiliki kondisi tidak melebihi 1 m, maka asumsi untuk variasi gelombang pada tabel 4 [11].

Tabel 4. Jenis-Jenis Asumsi Gelombang

Asumsi Gelombang	Tinggi Gelombang	Periode
<i>Smooth Water</i>	0.33 m	7.5 s
<i>Slight Water</i>	0.875 m	7.5 s

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Validasi Hambatan Kapal Tanpa Bilga

Berikut ini adalah perbandingan kecepatan kapal dan validasi hambatan kapal tanpa bilga setelah dianalisa dengan menggunakan *software Maxsurf Resistance* dan *Tdyn 15.1.0*.

Tabel 5. Perbandingan Kecepatan Kapal

Fr	V Skala Penuh	V Model
0,32	4,475 m/s	1,005 m/s
0,40	5,594 m/s	1,258 m/s

Tabel 6. Validasi Hambatan Kapal Tanpa Lunas Bilga

Fr	V (m/s)	RT <i>Maxsurf Resistance</i>	RT <i>Tdyn</i>	Selisih (%)
0,32	1,005	0,4115	0,4059	-1,34%
0,40	1,258	0,8511	0,8259	-2,69%

Validasi ini berguna untuk mengatur konvergensi ukuran *meshing* yang paling sesuai. Maka dari itu, ukuran yang digunakan adalah 0,01 untuk daerah kapal bawah air, 0,05 untuk *freesurface* dan 0,1 untuk seluruh komponen lainnya.

3.2. Hasil Hambatan Kapal

Berikut ini merupakan hasil hambatan kapal dengan menggunakan *software tdyn 15.1.0* dengan skala 1:19,77

Tabel 7. Nilai Hambatan Total

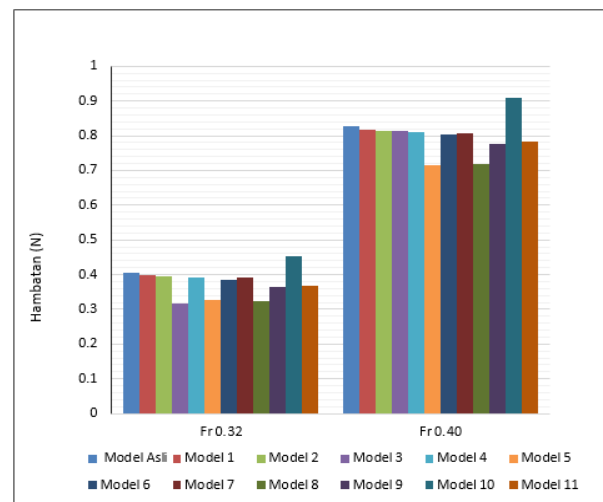
Model	RT Fr 0,32 (N)	Selisih (%)	RT Fr 0,40 (N)	Selisih (%)
Tanpa Bilga	0,40597	-	0,82594	-
Model 1	0,39956	-1,57	0,81879	-0,86
Model 2	0,39532	-2,62	0,81249	-1,62
Model 3	0,31516	-2,66	0,81371	-1,48
Model 4	0,39225	-3,37	0,80902	-2,04
Model 5	0,32590	-19,73	0,71404	-13,54
Model 6	0,38389	-5,45	0,80417	-2,63
Model 7	0,39290	-3,21	0,80737	-2,24
Model 8	0,32362	-20,28	0,71941	-12,89
Model 9	0,36324	-10,52	0,77727	-5,89
Model 10	0,45409	11,85	0,91003	10,18
Model 11	0,36837	-9,26	0,78448	-5,02

Tabel 8. Nilai Hambatan Gelombang

Model	RW Fr 0,32 (N)	Selisih (%)	RW Fr 0,40 (N)	Selisih (%)
Tanpa Bilga	0,17355	-	0,39278	-
Model 1	0,17310	-0,25	0,39356	0,198
Model 2	0,17493	0,79	0,39385	0,272
Model 3	0,17601	1,41	0,39626	0,885
Model 4	0,17102	-1,45	0,39089	-0,481
Model 5	0,11793	-32,04	0,31578	-19,60
Model 6	0,17609	1,46	0,40033	1,92
Model 7	0,17669	1,81	0,39566	0,73
Model 8	0,12494	-28,01	0,32888	-16,26
Model 9	0,16976	-2,18	0,39199	-0,201
Model 10	0,18216	4,96	0,40908	4,14
Model 11	0,16760	-3,42	0,39127	-0,38

Tabel 9. Nilai Hambatan Viskos

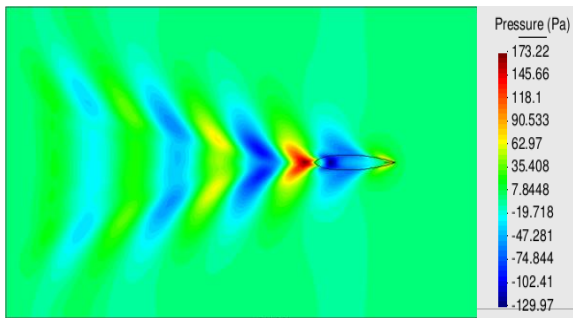
Model	RV Fr 0,32 (N)	Selisih (%)	RV Fr 0,40 (N)	Selisih (%)
Tanpa Bilga	0,23243	-	0,39278	-
Model 1	0,23022	-0,95	0,39356	-0,96
Model 2	0,22974	-1,15	0,39385	-1,19
Model 3	0,22958	-1,22	0,39626	-1,22
Model 4	0,22798	-1,91	0,39089	-1,91
Model 5	0,22380	-3,17	0,31578	-4,26
Model 6	0,22678	-2,43	0,40033	-2,38
Model 7	0,22657	-2,52	0,39566	-2,56
Model 8	0,22481	-3,27	0,32888	-3,81
Model 9	0,22203	-4,47	0,39199	-4,46
Model 10	0,26720	14,95	0,40908	14,55
Model 11	0,22268	-4,19	0,39127	-4,16



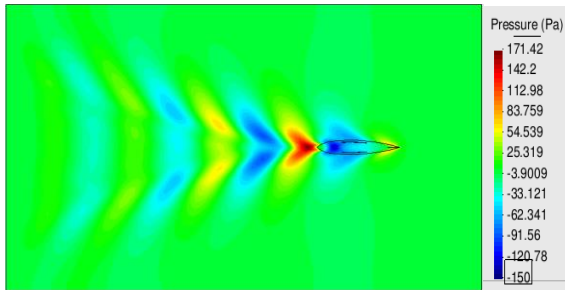
Gambar 7. Grafik Hambatan Total Kapal Dengan Variasi Lunas Bilga

Dari tabel 7 diketahui bahwa pada model kapal saat kecepatan 1,005 m/s didapatkan nilai hambatan paling kecil pada model kapal dengan lunas bilga 8 Meter, 3 Pasang dimana hambatan total berkurang hingga 20-21%. Dan untuk kecepatan 1,258 didapatkan hasil bahwa model kapal dengan lunas bilga 8 Meter, 2 Pasang memiliki hambatan total paling kecil, dimana hambatan total berkurang hingga 13-14%.

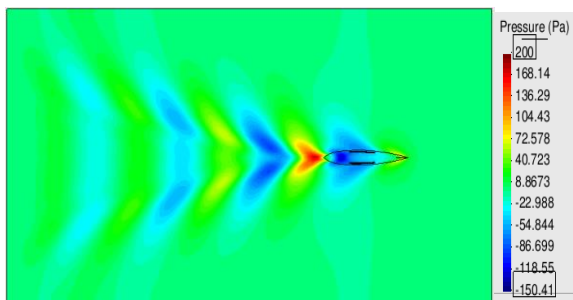
Tabel 8 dan tabel 9 menunjukkan model kapal pada saat kecepatan 1,005 m/s yang dapat mengurangi nilai hambatan gelombang paling besar terdapat pada model 8 Meter, 2 Pasang sebesar 32-33% dan model 10 Meter, 3 Pasang dapat mengurangi nilai hambatan viskos sebesar 4-5%. Pada model kapal saat kecepatan 1,258 m/s, model 8 Meter, 2 Pasang dapat mengurangi hambatan gelombang sebesar 19-20% dan model 10 Meter, 3 Pasang dapat mengurangi hambatan viskos sebesar 4-5%.



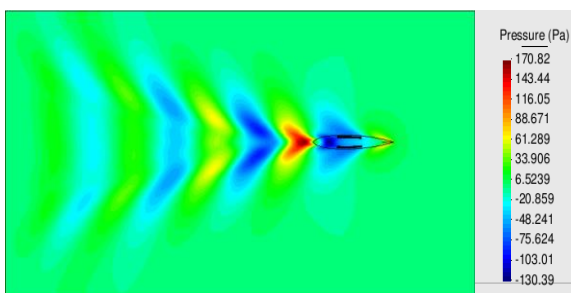
Gambar 8. Pressure Contour Model Tanpa Lunas Bilga Kecepatan 1,258 m/s



Gambar 9. Pressure Contour Model Kapal Lunas Bilga 6 Meter, 1 Pasang Kecepatan 1,258 m/s



Gambar 10. Pressure Contour Model Kapal Lunas Bilga 6 Meter, 2 Pasang Kecepatan 1,258 m/s



Gambar 11. Pressure Contour Model Kapal Lunas Bilga 6 Meter, 3 Pasang Kecepatan 1,258 m/s

3.3. Hasil Analisa Wake Fraction

Wake Fraction atau arus ikut dihasilkan dari energi penggerak yang akan berubah menjadi aliran air, kapal yang bergerak akan menghasilkan arus ikut. Wake Fraction merupakan faktor yang menyebabkan munculnya 2 macam kecepatan kapal, yaitu V_s (kecepatan dinas kapal) dan V_a

(kecepatan *advanced*). Untuk mendapatkan nilai *wake fraction* maka nilai V_a harus lebih kecil dari pada nilai V_s .

Dalam menganalisa perhitungan *wake fraction*, harus menentukan titik point yang digunakan untuk menganalisa kecepatan aliran di buritan dan mendapatkan nilai kecepatan *advanced*. Pada penelitian ini penulis menggunakan 1 titik lokasi *point*, dimana lokasi titik *point* berada di tengah bos poros baling-baling. Penulis menggunakan titik *point* tersebut karena nilai *wake fraction* diukur pada posisi dimana dapat meninjau aliran air yang telah melewati badan kapal sampai bagian buritan kapal.

Tabel 10. Perbandingan Nilai V_a dan Wake Fraction Fr 0,32

Model	V_a (m/s)	Selisih (%)	Wake	Selisih (%)
Tanpa Bilga	0,72752	-	0,27609	-
Model 1	0,82387	13,24	0,18022	-34,72
Model 2	0,81096	11,46	0,19307	-30,06
Model 3	0,81291	11,73	0,19113	-30,37
Model 4	0,80090	10,08	0,20308	-26,44
Model 5	0,88967	22,28	0,11475	-58,43
Model 6	0,81127	11,51	0,19276	-30,18
Model 7	0,82451	13,33	0,17959	-34,95
Model 8	0,83195	14,35	0,17218	-37,63
Model 9	0,90171	23,94	0,10277	-62,77
Model 10	0,74174	1,95	0,26195	-5,12
Model 11	0,81457	11,96	0,18948	-31,37

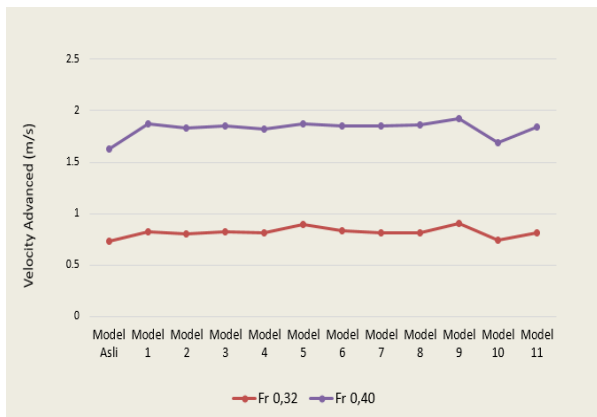
Tabel 11. Perbandingan Nilai V_a dan Wake Fraction Fr 0,40

Model	V_a (m/s)	Selisih (%)	Wake	Selisih (%)
Tanpa Bilga	0,89538	-	0,28825	-
Model 1	1,04370	16,56	0,17034	-40,90
Model 2	1,02710	14,71	0,18354	-36,32
Model 3	1,02720	14,72	0,18346	-36,35
Model 4	1,00800	25,70	0,19872	-31,05
Model 5	0,98610	10,13	0,21613	-25,01
Model 6	1,02370	14,33	0,18624	-35,38
Model 7	1,04380	16,57	0,17020	-40,95
Model 8	1,05190	17,48	0,16383	-43,16
Model 9	1,02270	14,21	0,18704	-35,38
Model 10	0,94491	5,53	0,24887	-13,66
Model 11	1,03080	15,12	0,18060	-37,34

Tabel 10 dan tabel 11 menunjukkan bahwa pemasangan lunas bilga pada lambung kapal dapat menambah nilai *Velocity Advanced*, hal ini membuat berkurangnya nilai *wake fraction* serta memperbaiki aliran air yang menuju ke arah buritan kapal. Pada kapal dengan kecepatan 1,005 m/s, model yang memiliki nilai V_a paling tinggi dan nilai *wake fraction* yang paling optimal adalah model kapal dengan lunas bilga 10 Meter, 3

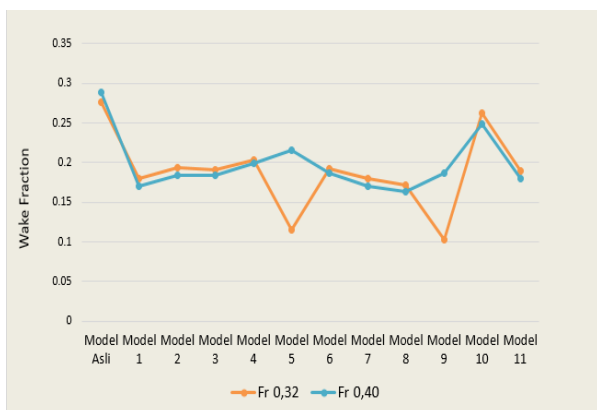
Pasang. Model 10 Meter, 3 Pasang ini dapat mengurangi nilai *wake fraction* sebesar 62 – 63%. Pada kapal dengan kecepatan 1,258 m/s, model yang memiliki nilai VA paling tinggi dan nilai *wake fraction* yang paling optimal adalah model kapal dengan lunas bilga 8 Meter, 3 Pasang. Model 8 Meter, 3 Pasang ini dapat mengurangi nilai *wake fraction* sebesar 43 – 44%.

Gambar 12 dan gambar 13 merupakan gambar grafik perbandingan nilai *Velocity Advanced* dan *Wake Fraction* pada model yang telah dianalisa.



Gambar 12. Grafik Perbandingan Nilai *Velocity Advanced* pada Fr 0,32 dan Fr 0,40

Pada gambar 12, menunjukkan bahwa sumbu x adalah variasi model kapal dengan lunas bilga dan sumbu y adalah nilai *Velocity Advanced*. Grafik ini menunjukkan perbandingan nilai Va model asli dengan Va variasi model pada kapal Fr 0,32 dan Fr 0,40, dimana model kapal dengan lunas bilga 10 Meter 3 Pasang dan lunas bilga 8 Meter 3 Pasang yang memiliki perbandingan nilai Va paling besar diantara model lainnya jika dibandingkan dengan model asli kapal.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Nilai *Wake Fraction* pada Fr 0,32 dan Fr 0,40

Pada gambar 13, menunjukkan bahwa sumbu x adalah variasi model kapal dengan lunas bilga dan sumbu y adalah nilai *Wake Fraction*. Grafik ini menunjukkan perbandingan nilai *Wake Fraction* model asli dengan *Wake Fraction* variasi model kapal Fr 0,32 dan Fr 0,40, dimana model kapal dengan lunas bilga 10 Meter 3 Pasang dan lunas bilga 8 Meter 3 Pasang yang memiliki nilai *Wake Fraction* paling kecil dan paling optimal memperbaiki aliran air.

3.4. Hasil Gerak *Rolling* Kapal

Gerak *rolling* kapal pada penelitian ini dihasilkan dengan menggunakan *software Maxsurf Motions*. Penelitian ini menggunakan beberapa variasi *wave heading*, yaitu 45° (*Quartering Seas*), 90° (*Beam Seas*), 180° (*Quartering Bow Seas*). Pada analisa gerak *rolling* kapal menggunakan standar kriteria umum dalam mengevaluasi hasil perhitungan analisisnya. Hal ini telah dijelaskan lebih rinci pada tabel 3 dan tabel 4.

Berikut ini adalah hasil perhitungan gerak *rolling* kapal pada KM. Horas Nainggolan.

Tabel 12. Perbandingan gerak *Rolling* untuk gelombang *Smooth water* pada Fr 0,32

Model	Motion (deg)					
	45°	Selisih (%)	90°	Selisih (%)	135°	Selisih (%)
Tanpa Bilga	0,36	-	0,78	-	0,47	-
Model 1	0,34	-5,5	0,72	-7,6	0,45	4,3
Model 2	0,40	11,1	0,84	7,6	0,51	8,5
Model 3	0,39	8,3	0,81	3,8	0,49	4,2
Model 4	0,41	13,8	0,79	1,2	0,49	4,2
Model 5	0,41	13,8	0,79	1,2	0,52	10,6
Model 6	0,42	16,6	0,92	17,9	0,56	19,1
Model 7	0,40	13,8	0,98	25,6	0,59	25,5
Model 8	0,42	16,6	1,05	34,6	0,62	31,9
Model 9	0,45	25	1,10	41,0	0,62	31,9
Model 10	0,51	41,6	1,12	43,6	0,67	42,5
Model 11	0,42	16,6	1,03	32,0	0,59	25,5

Tabel 13. Perbandingan gerak *Rolling* untuk gelombang *Smooth water* pada Fr 0,40

Model	Motion (deg)					
	45°	Selisih (%)	90°	Selisih (%)	135°	Selisih (%)
Tanpa Bilga	0,41	-	0,79	-	0,45	-
Model 1	0,30	-26,8	0,73	-7,5	0,39	-15,3
Model 2	0,37	-9,7	0,77	-2,5	0,44	-2,2
Model 3	0,34	-17,1	0,76	-3,79	0,42	-6,6
Model 4	0,42	2,4	0,81	2,5	0,46	2,2
Model 5	0,44	7,3	0,81	2,5	0,47	4,4
Model 6	0,48	17,1	0,92	16,4	0,52	15,5
Model 7	0,51	24,4	0,97	22,7	0,55	22,2
Model 8	0,49	19,5	1,02	29,1	0,60	33,3
Model 9	0,48	17,1	1,04	31,6	0,62	37,7
Model 10	0,57	39,1	1,10	39,2	0,64	42,2
Model 11	0,48	17,1	0,97	22,7	0,56	24,4

Tabel 14. Perbandingan gerak *Rolling* untuk gelombang *Sligth water* pada Fr 0,32

Model	Motion (deg)					
	45°	Selisih (%)	90°	Selisih (%)	135°	Selisih (%)
Tanpa Bilga	0,97	-	2,07	-	1,23	-
Model 1	0,91	-6,2	2,00	-3,4	1,20	-2,4
Model 2	0,95	-2,1	2,06	-0,5	1,24	0,8
Model 3	0,92	-5,2	2,04	-1,4	1,21	-1,6
Model 4	0,95	-2,1	2,05	-0,9	1,21	-1,6
Model 5	0,98	1,0	2,09	0,9	1,24	0,8
Model 6	0,98	1,0	2,14	3,3	1,35	9,7
Model 7	1,02	5,2	2,18	5,4	1,38	12,2
Model 8	1,04	7,2	2,18	5,4	1,45	17,8
Model 9	1,08	11,3	2,20	6,2	1,47	19,5
Model 10	1,21	24,7	2,24	8,2	1,54	25,2
Model 11	1,04	7,2	2,19	5,7	1,44	17,0

Tabel 15. Perbandingan gerak *Rolling* untuk gelombang *Sligth water* pada Fr 0,40

Model	Motion (deg)					
	45°	Selisih (%)	90°	Selisih (%)	135°	Selisih (%)
Tanpa Bilga	1,08	-	2,07	-	1,20	-
Model 1	1,02	-5,5	2,03	-1,9	1,18	-1,6
Model 2	1,07	-0,9	2,05	-0,9	1,24	3,3
Model 3	1,06	-1,9	2,05	-0,9	1,18	-1,6
Model 4	1,00	-7,4	2,02	-2,4	1,16	-3,3
Model 5	1,09	0,9	2,08	0,4	1,28	0,8
Model 6	1,12	3,7	2,14	3,4	1,30	8,3
Model 7	1,17	8,3	2,20	6,3	1,32	10
Model 8	1,20	11,1	2,22	7,3	1,32	10
Model 9	1,27	17,6	2,22	7,3	1,36	13,3
Model 10	1,32	22,2	2,32	12,1	1,51	25,8
Model 11	1,21	12,04	2,14	3,4	1,30	8,3

Berdasarkan pada tabel 12 s.d tabel 15, perbandingan gerak *rolling* mengalami peningkatan performa *rolling* jika dirata-ratakan arah gelombangnya (45°, 90°, 135°) setelah dibandingkan dengan model asli tanpa bilga. Model yang paling optimal mengurangi nilai *rolling* adalah kapal dengan lunas bilga 6 Meter, 1 Pasang. Dengan adanya pemasangan lunas bilga dapat efektif mengurangi respon gerakan roll kapal.

3.4.1. Evaluasi Kriteria *Rolling*

Tabel 16. RMS *Smooth water* dan Standar NORDFORSK gerakan Roll pada Fr 0,32

Model	Motion (deg)			Standar
	45	90	135	
Tanpa Bilga	0,36	0,78	0,47	
Model 1	0,34	0,72	0,45	
Model 2	0,40	0,84	0,51	
Model 3	0,39	0,81	0,49	
Model 4	0,41	0,79	0,49	Max 6,0°
Model 5	0,41	0,79	0,52	
Model 6	0,42	0,92	0,56	
Model 7	0,40	0,98	0,59	
Model 8	0,42	1,05	0,62	
Model 9	0,45	1,10	0,62	
Model 10	0,51	1,12	0,67	
Model 11	0,42	1,03	0,59	

Tabel 17. RMS *Smooth water* dan Standar NORDFORSK gerakan Roll pada Fr 0,40

Model	Motion (deg)			Standar
	45	90	135	
Tanpa Bilga	0,41	0,79	0,45	
Model 1	0,30	0,73	0,39	
Model 2	0,37	0,77	0,44	
Model 3	0,34	0,76	0,42	Max 6,0°
Model 4	0,42	0,81	0,46	
Model 5	0,44	0,81	0,47	
Model 6	0,48	0,92	0,52	
Model 7	0,51	0,97	0,55	
Model 8	0,49	1,02	0,60	
Model 9	0,48	1,04	0,62	
Model 10	0,57	1,10	0,64	
Model 11	0,48	0,97	0,56	

Tabel 18. RMS *Slight water* dan Standar NORDFORSK gerakan Roll pada Fr 0,32

Model	Motion (deg)			Standar
	45	90	135	
Tanpa Bilga	0,97	2,07	1,23	
Model 1	0,91	2,00	1,20	
Model 2	0,95	2,06	1,24	
Model 3	0,92	2,04	1,21	Max 6,0°
Model 4	0,95	2,05	1,21	
Model 5	0,98	2,09	1,24	
Model 6	0,98	2,14	1,35	
Model 7	1,02	2,18	1,38	
Model 8	1,04	2,18	1,45	
Model 9	1,08	2,20	1,47	
Model 10	1,21	2,24	1,54	
Model 11	1,04	2,19	1,44	

Tabel 19. RMS *Slight water* dan Standar NORDFORSK gerakan Roll pada Fr 0,40

Model	Motion (deg)			Standar
	45	90	135	
Tanpa Bilga	1,08	2,07	1,20	
Model 1	1,02	2,03	1,18	
Model 2	1,07	2,05	1,24	
Model 3	1,06	2,05	1,18	Max 6,0°
Model 4	1,00	2,02	1,16	
Model 5	1,09	2,08	1,28	
Model 6	1,12	2,14	1,30	
Model 7	1,17	2,20	1,32	
Model 8	1,20	2,22	1,32	
Model 9	1,27	2,22	1,36	
Model 10	1,32	2,32	1,51	
Model 11	1,21	2,14	1,30	

Berdasarkan data hasil yang tertera pada tabel 16 s.d 19, pada gelombang *smooth water* dan gelombang *slight water* pada kapal Fr 0,32 dan Fr 0,40 semua memenuhi kriteria.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa model kapal dengan lunas bilga 8 Meter, 3 Pasang dan 8 Meter, 2 Pasang dapat mengurangi nilai hambatan total paling besar jika dibandingkan dengan model kapal tanpa bilga. Model 10 Meter, 3 Pasang dan 8 Meter, 3 Pasang memiliki nilai V_a paling besar maka dapat memperbaiki pola aliran paling optimal dan paling bagus diantara model lainnya. Pada perhitungan *rolling* dapat diketahui bahwa model kapal dengan lunas bilga 6 Meter, 1 pasang dapat mengurangi nilai *rolling* paling besar. Dari semua model yang ada model kapal dengan lunas bilga 8 Meter, 3 Pasang dengan jarak antar lunas bilga 10 dan 20 cm yang paling tidak optimal dalam meningkatkan performa kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BMKG Provinsi Sumatera Utara, Letak Geografis Danau Toba., Samosir, 2010.
- [2] BPS-Bappeda Kabupaten Toba Samosir., "Statistik Dasar Pariwisata", BPS Kabupaten Toba Samosir, 2018.
- [3] P. Manik dan E. Hadi, "Studi Hull Form Kapal Barang-Penumpang Tradisional Di Danau Toba Sumatera Utara", Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan, Vol. 5 No. 3, Pages 159-164, 2008.
- [4] M. I. Malik, P. Manik dan M. Iqbal, "Pengembangan Geometri Lunas Bilga Untuk Meningkatkan Performa Kapal Ikan Tradisional", Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 4, No. 4, Pages 756, 2016.
- [5] S. Arifin, P. Manik, dan B. Arswendo, "Analisa Pengaruh Geometri Lunas Bilga Berbentuk Trapesium Terhadap Performa Kapal Pada Kapal Ikan Tradisional (Studi Kasus Kapal Tipe Kragan) Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)*", Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 5, No. 4, 2017.
- [6] W. Liu, Y. K. Demirel, E. K. Djatmiko, S. Nugroho, T. Tezdogan, R. E. Kurt, H. Supomo, I. Baihaqi, Z. Yuan & A. Incecik, "Bilge Keel design for the traditional fishing boats of Indonesia's East Java", International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol. 11, Pages 380-395, 2019.
- [7] A. Saputra, U. Budiarto dan G. Rindo, "Analisa Pengaruh *Bilge Keel* Tipe Bulb Terhadap

Lambung V dan U Pada Kapal Patroli Dengan Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)*”, *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 7, No. 1, 2019.

- [8] C. C. Bassler and A. M. Reed, “An Analysis of the Bilge Keel Roll Damping Component Model”, *Proc. 10th Intl. Conf. Stability of Ships and Ocean Vehicles*, St. Petersburg, Russia, 2009.
- [9] H. Hendratmoko dan H. I. K. A. P. Utama, ”Studi Eksperimen Pengaruh Lunas Bilga Terhadap Gerakan Rolling”, *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 1 No. 1, 2012.
- [10] O. M. Faltinsen, “Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles”, New York: Cambridge University Press, 2005.
- [11] Kiryanto, “ANALISA TEKNIS STABILITAS DAN OLAH GERAK KAPAL PATROL SPEED BOAT “GRASS CARP DI PERAIRAN RAWA PENING JAWA TENGAH”, *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan & Teknologi Kelautan*, Vol 7, No. 2, 2010.