



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Pengaruh Variasi Sudut *Flare Bow* Dengan *Stem* Terhadap Nilai Hambatan dan *Slamming* Pada Model Haluan Ulstein X-Bow

Maria Fatima¹⁾, Deddy Chrismianto¹⁾, Kiryanto¹⁾

Laboratorium Hidrodinamika

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: fmariaima26@gmail.com, deddychrismianto@yahoo.co.id, kiryantodst@yahoo.com

Abstrak

Inovasi pada transportasi laut khususnya kapal agar memiliki kinerja kapal yang lebih optimal lagi. Diperlukan upaya mulai dari mengikuti perkembangan desain bentuk haluan. Bentuk haluan terbaru yaitu X-bow dapat menghadapi gelombang yang datang kearah kapal dengan memecahkan gelombang secara lebih halus. Berdasarkan paten desain Ulstein X-bow terdapat beberapa ketentuan seperti sudut *flare bow* dan *stem angle*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat beragam model X-bow berdasarkan perubahan kedua sudut tersebut kemudian dianalisis nilai hambatan total dan *probability of slamming* kapal. Pemodelan dilakukan pada *software Autocad*, *Delftship* dan *Rhinoceros* sedangkan untuk pengujian dilakukan pada *software Autodesk CFD* dan *Maxsurf Motion*. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa variasi sudut *flare* dan *stem* dapat berpengaruh terhadap nilai hambatan total dan *probability of slamming* kapal. Dapat disimpulkan bahwa model 1 dengan variasi sudut (*stem* 6°; *flare* 10°) menghasilkan kinerja kapal yang optimal pada kecepatan 14 knot dengan hasil nilai hambatan total sebesar 383,13 KN dibanding model original yang bernilai 385,62 KN sehingga mengalami penurunan sebesar 0,64 %. Untuk analisa *probability of slamming* seluruh model memiliki nilai *probability of slamming* bernilai dibawah 0,03. Jika ditinjau dengan kriteria Nordforks maka setiap model tidak akan mengalami *slamming*. Dan nilai paling kecil ada pada model 1 dengan variasi (*stem* 6°; *flare* 10°) di tinggi gelombang 4 meter yaitu bernilai $8,56 \times 10^{-15}$ dan $2,99 \times 10^{-14}$ dengan sudut *heading* 135° (*Bow Quatering Sea*) dan 180° (*head sea*).

Kata Kunci : *flare*, *stem*, Hambatan, *Slamming*, Ulstein X-Bow

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini sudah menjadi tuntutan bagi bidang desain rencana kapal untuk memberikan inovasi pada transportasi laut khususnya kapal agar mampu memiliki kapal dengan kinerja yang lebih optimal lagi dan menjaga eksistensi sebagai negara maritim di mata dunia. Upaya tersebut dapat dimulai dari mengikuti perkembangan inovasi desain bentuk haluan. Bagian haluan kapal adalah bagian yang paling mendapat tekanan dan tegangan dari ombak lautan karena haluan berfungsi untuk memecah gelombang. Kapal

dengan bentuk haluan yang baik akan memberikan efisiensi hambatan yang dihasilkan sehingga operasional kapal dan pergerakan kapal menjadi lebih baik[1].

Untuk itu bidang perancangan kapal perlu terbuka terhadap suatu inovasi dari negara lain agar mampu bersaing menjadi negara maritim salah satunya adalah Negara Norwegia dari kelompok perusahaan Ulstein memunculkan suatu revolusi terhadap bentuk haluan kapal yang bernama Ulstein X-bow. Dengan bentuk haluan X-bow ombak yang datang kearah kapal dapat dipecahkan secara lebih halus. Beberapa klaim

kelebihan dinyatakan oleh Ulstein bahwa bentuk haluan *X-bow* memiliki kemampuan *seakeeping* yang lebih baik dan mengurangi hambatan dibanding haluan konvensional. Konsep haluan *X-bow* ini masih butuh waktu dan dikaji lebih dalam lagi untuk dapat direalisasikan di Indonesia. Salah satu penelitian yang telah membuktikan bahwa Ulstein *X-bow* lebih baik dalam mengurangi hambatan dibanding haluan *bulbous bow* [2]. Berdasarkan paten desain Ulstein *X-bow* terdapat beberapa ketentuan seperti istilah *flare bow* dan *stem angle*. Kedua sudut tersebut ketika divariasikan akan mempengaruhi keberagaman bentuk dari Ulstein *X-bow* maka dari itu penulis akan melanjutkan model *X-bow* penelitian terdahulu dengan variasi sudut *flare bow* dan *stem* untuk menganalisa dampak perubahan sudut tersebut terhadap hambatan dan *slamming* kapal.

1.2. Perumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang di atas, dapat dirumuskan masalah yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut *flare* dan *stem* terhadap nilai hambatan total pada bentuk haluan Ulstein *X-bow*?
2. Bagaimana pengaruh variasi sudut *flare* dan *stem* terhadap analisa *slamming* pada bentuk haluan Ulstein *X-bow* ?
3. Bagaimana variasi sudut *flare* dan *stem* pada model yang bekerja paling optimal?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas, maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai hambatan total dari setiap model variasi sudut *flare* dan *stem* pada bentuk haluan Ulstein *X-bow*
2. Mengetahui analisis *slamming* yang diterima kapal dengan bentuk haluan Ulstein *X-bow* untuk setiap model variasi sudut *flare* dan *stem*
3. Mengetahui model variasi *flare* dan *stem* yang bekerja paling optimal terhadap hambatan dan *slamming* kapal

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Ulstein X-Bow

Secara keseluruhan bentuk haluan Ulstein *X-bow* berbeda dengan bentuk haluan kapal konvensional. Haluan Ulstein *X-bow* didominasi oleh haluan yang tinggi, bulat dan mengembang sedikit diatasnya [3]. Kapal dengan desain haluan seperti Ulstein *X-bow* memiliki daya apung besar sebab ada penambahan volume dari bentuknya. Ulstein *X-bow* pertama kali diluncurkan pada tahun 2005. Dikenal sebagai *Inverted Bow* karena

dari bentuk haluan dengan bagian atas membalik kearah belakang. Ulstein *X-bow* awalnya memang dirancang untuk kapal pekerja lepas pantai. Kapal dengan *bow* seperti ini memiliki analisa *seakeeping* yang lebih baik dibanding kapal haluan konvensional. Selain *seakeeping* kapal dengan tipe haluan Ulstein *X-bow* ini juga dapat mengefisiensi bahan bakar. Bentuk haluan seperti ini membuat ombak-ombak terpecahkan secara lebih halus.

2.2. Hambatan Kapal

Hambatan kapal merupakan ilmu yang mempelajari reaksi fluida akibat gerakan kapal yang melalui fluida tersebut [4]. Dalam istilah *hidrodinamika* kapal adalah besarnya gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Hambatan tersebut sama dengan komponen gaya yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kecepatan kapal . Hambatan total pada kapal dapat dinyatakan sebagai berikut

$$RT = 0,5.Ct.\rho.Vm^2.S \quad (1)$$

Dimana :

- Ct = koefisien tahanan total kapal
- S = luas permukaan basah pada *hull* (m²)
- ρ = massa jenis air laut (kg/m³)
- Vm = kecepatan kapal (m/s)

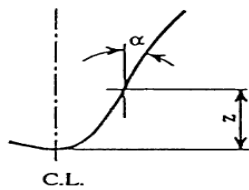
2.3. Slamming Kapal

Pergerakan kapal saat menghadapi gelombang laut dipengaruhi oleh beban sehingga memberikan respon gerak vertikal berupa gerak *heaving* dan *pitching*. Bagian yang paling pertama dalam menghadapi gelombang laut baik yang tenang maupun yang ekstrem adalah bagian haluan kapal [5]. Gelombang ekstrem akan mengakibatkan hempasan gelombang pada bagian haluan kapal. *Slamming* terjadi bila haluan kapal kembali jatuh dipermukaan air. Kecepatan jatuh bagian haluan ke permukaan gelombang dapat mempengaruhi kekuatan struktur dari kapal tersebut. Ketika haluan kapal terangkat dan jatuh ke permukaan air laut tentu akan mengalami tubrukan dengan air yang begitu keras.

2.4. Flare Bow dan Stem Angle

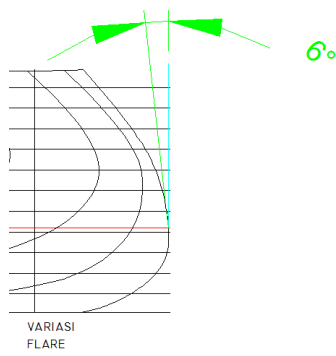
Definisi *Flare Bow Angle* yaitu sudut kemiringan di bagian haluan pada *bodyplan* kapal diukur dari perpotongan garis tinggi dengan garis sarat. Perubahan sudut *flare* akan mempengaruhi bentuk luasan bagian depan kapal. Desain yang mengurangi *Bow Flare* diklaim dapat menghilangkan peluang *slamming* dan mengurangi hambatan [6]. Kemudian untuk *stem angle* diartikan sebagai sudut kemiringan di haluan pada tampilan *sheer plan* kapal. Pada paten

desain Ulstein X- bow kisaran sudut *flare* dengan ketentuan yaitu 90° - 45° . Untuk *stem angle* yaitu diatur dengan kisaran 0° - 55° [7].



Gambar 1. Sudut *flare bow* [8]

Sudut *flare bow* diperjelas pada gambar 1 yaitu dengan lambang α yang menyatakan besar sudut *flare* di potongan melintang kapal.



Gambar 2. Sudut *Stem*

Gambar 2 menggambarkan besar sudut *stem* pada haluan Ulstein X-bow di potongan memanjang kapal.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada tabel 1 merupakan data kapal didapat dari penelitian sebelumnya

Tabel 1. Data Ukuran Utama Kapal

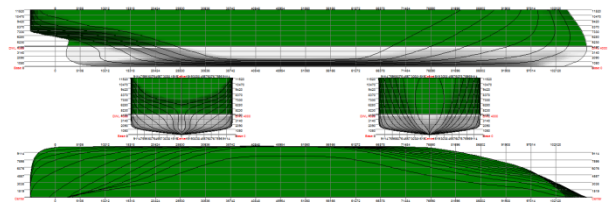
Data Ukuran Utama Kapal	
<i>Length of Perpendicular(LPP)</i>	102,12 m
<i>Draft(T)</i>	4 m
<i>Height (H)</i>	11,52 m
<i>Breadth (B)</i>	20,65 m
<i>Displacement</i>	4500 ton

Selanjutnya di lakukan analisa hambatan, dan *slamming* kapal dari variasi bentuk haluan X-bow berdasarkan sudut *flare bow* dan *stem*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemodelan dengan Delftship

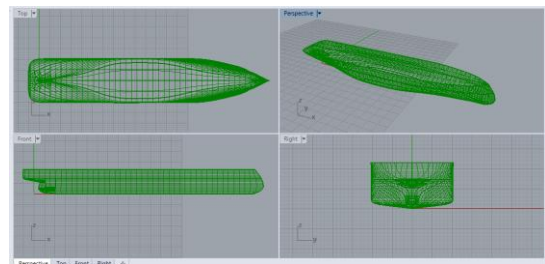
Dari data ukuran utama kapal dibuat pemodelan kapal seperti pada gambar 4 dengan bantuan *software Delftship*.



Gambar 3. Pemodelan Dengan *Delftship*

4.2. Pemodelan dengan Rhinoceros

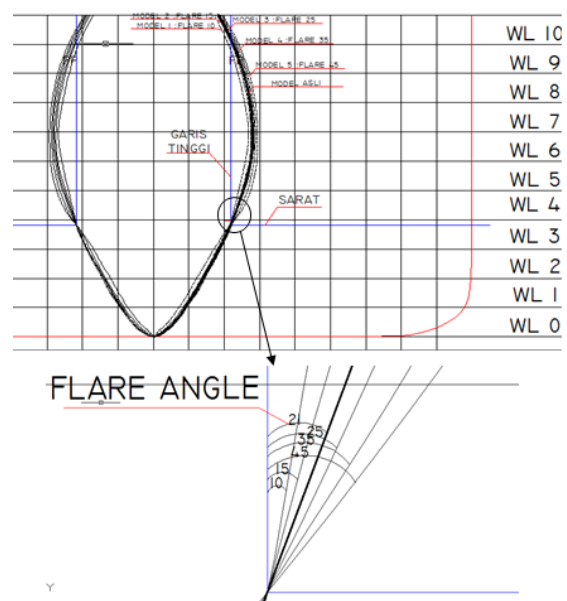
Pembuatan model juga dilakukan dengan bantuan *software Rhinoceros* sesuai gambar 5 agar model dapat dibuat *solid* dan dibuka di *software CFD*.



Gambar 4. Pemodelan dengan *Rhinoceros*

4.3. Pembuatan Variasi Model

Pembuatan model awalnya dirancang menggunakan *software Autocad* untuk melakukan pengukuran sudut. Selanjutnya dipindahkan ke *software Delftship* untuk membentuk model lebih *smooth* dan ke *software Rhinoceros* agar dapat masuk ke *software CFD*. Penelitian ini menguji sebanyak 10 model variasi dan 1 model original dengan bentuk haluan X-bow yang mengalami perubahan sudut *flare* dan *stem*.



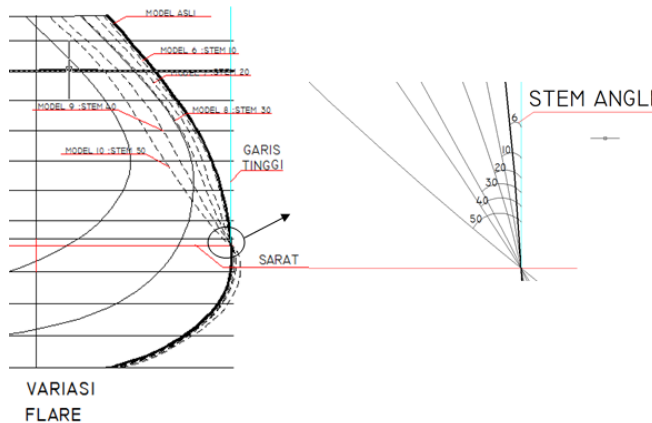
Gambar 5. Variasi Model Sudut *Flare*

Gambar 5 menjelaskan variasi sudut *flare*. Diambil sebanyak 5 sudut sehingga terdapat 5 model variasi sudut *flare*.

Tabel 2. Rincian Variasi Model Sudut *Flare*

Model	Variasi Sudut (degree)	
	Stem	Flare
ori	6	21
1	6	10
2	6	15
3	6	25
4	6	35
5	6	45

Pada Tabel 2 merupakan rincian variasi model sudut *flare*. Untuk variasi ini sudut *stem* tidak diubah agar dapat melihat pengaruh sudut *flare* secara jelas.



Gambar 6. Variasi Model Sudut *Stem*

Gambar 6 menjelaskan variasi sudut *stem*. Diambil sebanyak 5 sudut sehingga terdapat 5 model variasi sudut *stem*.

Tabel 3. Rincian Variasi Model Sudut *Stem*

Model	Variasi Sudut (degree)	
	Stem	Flare
ori	6	21
6	10	21
7	20	21
8	30	21
9	40	21
10	50	21

Pada Tabel 3 merupakan rincian variasi model sudut *stem*. Untuk variasi ini sudut *flare* tidak diubah agar dapat melihat pengaruh sudut *stem* secara jelas.

4.4. Validasi Model

Model yang didapat dari permodelan perlu divalidasi terlebih dahulu. Hasil koreksi pada validasi tidak boleh lebih dari 5%. Jika pada analisa model sudah sesuai dengan data

sebenarnya maka dapat digunakan pada analisis selanjutnya.

Volume properties

Moulded volume	4390.1 (m ³)
Total displaced volume	4390.1 (m ³)
Displacement	4499.9 (tonnes)
Block coefficient	0.5205
Prismatic coefficient	0.6203
Vert. prismatic coefficient	0.7431
Wetted surface area	1886.3 (m ²)
Longitudinal center of buoyancy	52.607 (m)
Longitudinal center of buoyancy	1.461 %
Vertical center of buoyancy	2.367 (m)

Gambar 7. Data Hidrostatik Model

Pada gambar 7 nilai *displacement* kapal setelah menjadi model sebesar 4499,9 ton sedangkan data asli kapal 4500 ton maka hasil koreksi validasi 0,002 % .

4.5. Analisa Nilai Hambatan Total

Pengolahan data hambatan didapat dari software Autodesk CFD. Kesebelas Model yang diuji di software sudah dalam skala 1 : 1 dengan tiap – tiap model diuji 4 variasi kecepatan yaitu 8 knot, 10 knot, 12 knot dan 14 knot. Pada software Autodesk CFD didapat total *forces* yaitu langsung nilai hambatan total. Dibawah ini disajikan hasil dari pengujian

Tabel 4. Hasil Hambatan Total Model Original Hingga Model Variasi 1-5 Pada Kecepatan 8 dan 10 Knot

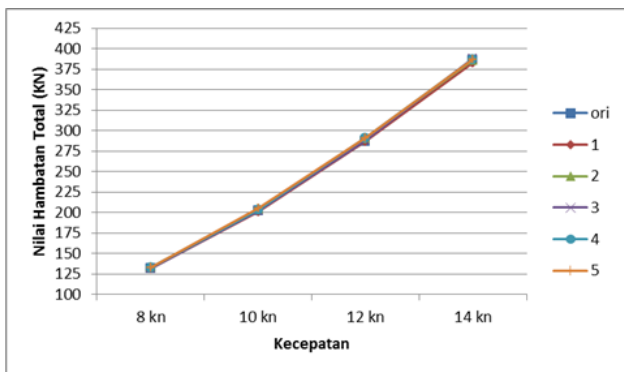
Model	Kecepatan			
	8 knot		10 knot	
	Rt	Persen	Rt	Persen
Ori	131.50		202.63	
1	131.29	-0.16%	201.35	-0.63%
2	132.98	1.12%	204.13	0.74%
3	131.83	0.24%	202.31	0.15%
4	132.36	0.65%	202.77	0.07%
5	132.74	0.94%	205.61	1.46%

Tabel 5. Hasil Hambatan Total Model Original Hingga Model Variasi 1-5 Pada Kecepatan 12 dan 14 Knot

Model	Kecepatan			
	12 knot		14 knot	
	Rt	Persen	Rt	Persen
Ori	287.01		385.62	
1	286.37	-0.22%	383.14	-0.64%
2	289.75	0.95%	386.24	0.16%
3	287.92	0.31%	388.05	0.63%
4	290.59	1.24%	387.09	0.38%
5	290.51	1.21%	387.36	0.45%

Tabel 4 dan 5 menjelaskan keseluruhan hasil nilai hambatan total dari setiap model di setiap kecepatan. Pada tabel tersebut terlihat bahwa model 1 (*stem* 6⁰; *flare* 10⁰) selalu mengalami penurunan nilai hambatan total

dibanding model original di setiap kecepatan. Pada kecepatan 8 knot nilai hambatan total model original yaitu 131.50 KN sedangkan pada model variasi 1 nilai hambatan total menjadi 131,29 KN yaitu turun sebesar 0,16%. Untuk kecepatan 10 knot nilai hambatan total model original yaitu 202,63 KN dan mengalami penurunan pada model variasi 1 menjadi 201,35 KN sehingga turun sebanyak 0,63%. Di kecepatan 12 knot model original memiliki nilai hambatan sebesar 287,01 KN dan turun pada model variasi 1 menjadi 286,37 KN sehingga mengalami penurunan sebesar 0,22 % dan pada kecepatan maksimal yaitu 14 knot model 1 juga mengalami penurunan hambatan dari 385,62 KN menjadi 383,14 KN yaitu turun dengan presentase sebesar 0,64%. Dari hasil analisa pada model variasi 1 hingga 5 dengan variabel peubah sudut *flare* maka model 1(*stem* 6⁰; *flare* 10⁰) yang paling konstan di setiap kecepatan selalu mengalami penurunan nilai hambatan dibanding model original (*stem* 6⁰; *flare* 21⁰) . Dengan demikian *flare* dengan derajat yang paling kecil dalam konteks penelitian ini dapat menghasilkan model yang lebih optimal dari segi berkurangnya nilai hambatan total



Gambar 8. Grafik fungsi hambatan terhadap kecepatan model original hingga 1-5

Gambar 8 menjelaskan karakter grafik hambatan untuk model original hingga variasi model 5 bahwa semakin bertambah kecepatan semakin naik nilai hambatan total tetapi model 1 selalu berada di posisi paling bawah dibanding model original maupun model variasi lainnya. Selanjutnya analisa nilai hambatan total dilakukan pada pengujian kedua yaitu model kapal yang mengalami variasi sudut stem yaitu model 6 hingga model 10. Berikut hasil analisa nilai hambatan total

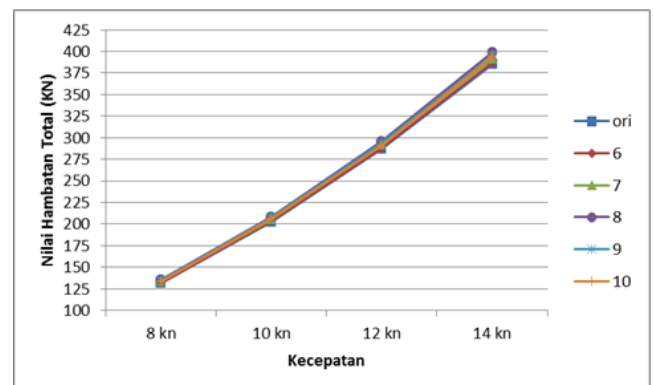
Tabel 6. Hasil Hambatan Total Model Original Hingga Model Variasi 6-10 Pada Kecepatan 8 dan 10 Knot

Model	Kecepatan			
	8 knot		10 knot	
	Rt	Persen	Rt	Persen
Ori	131.50		202.63	
6	131.73	0.16%	203.64	0.49%
7	133.66	1.63%	205.76	1.54%
8	135.81	3.27%	208	2.64%
9	134.84	2.53%	207.65	2.47%
10	133.73	1.68%	206.66	1.97%

Tabel 7. Hasil Hambatan Total Model Original Hingga Model Variasi 6-10 Pada Kecepatan 12 dan 14 Knot

Model	Kecepatan			
	12 knot		14 knot	
	Rt	Persen	Rt	Persen
Ori	287.01		385.62	
6	288.08	0.37%	386.8	0.30%
7	291.91	1.70%	390.97	1.38%
8	296.09	3.16%	398.6	3.36%
9	293.73	2.34%	395.06	2.59%
10	290.88	1.34%	394.31	2.25%

Tabel 6 dan 7 menjelaskan keseluruhan hasil nilai hambatan total dari setiap model di setiap kecepatan. Namun pada analisa ini menyatakan bahwa model variasi 6 hingga 10 memiliki nilai hambatan total yang lebih tinggi dibanding model original di setiap kecepatan. Model original (*stem* 6⁰; *flare* 21⁰) memiliki nilai hambatan total lebih kecil dibanding model variasi lainnya untuk setiap variasi kecepatan. Dalam analisa ini variasi model 6 (*stem* 10⁰; *flare* 21⁰) mengalami kenaikan nilai hambatan total tetapi hasilnya tidak berbeda jauh dengan hasil model original. Dengan demikian pada model original dan model variasi 6 hingga 10 untuk variabel peubah sudut stem yang memiliki nilai derajat kecil dapat mempengaruhi kecilnya nilai hambatan total.



Gambar 9. Grafik fungsi hambatan terhadap kecepatan model original hingga 6-10

Gambar 9 menjelaskan karakter grafik hambatan untuk model original hingga variasi model 6-10 bahwa semakin bertambah kecepatan semakin naik nilai hambatan total. Tetapi dengan sudut *stem* yang kecil maka nilai hambatan juga ikut mengalami penurunan dalam konteks pengujian kedua ini karena sudut *stem* paling kecil dimiliki oleh model original maka model dengan hambatan paling kecil masih dimiliki oleh model original.

4.5.1. Validasi Holtrop

Untuk memvalidasi hasil dari uji model dari *software* CFD. Dilakukan perhitungan manual nilai hambatan total pada salah satu model yaitu model variasi 1 dengan variasi sudut (*stem* 6⁰:*flare* 10⁰) dibandingkan dengan nilai hambatan total yang didapat dari *software*. Rumus perhitungan nilai hambatan total yang digunakan yaitu rumus hambatan secara umum

$$\begin{aligned}
 RT &= \frac{1}{2} \times \rho \times C_T \times S \times V^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 1,025 \times 0,007549208848 \times 1886,3 \\
 &\quad \times (7,196)^2 \\
 &= 377,91 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Pada *software* CFD nilai hambatan total variasi model 1 di kecepatan 14 knot adalah 383,14 KN maka berdasarkan kedua nilai diatas terdapat selisih error sebesar 1,36 %

4.6. Perhitungan Slamming

Pada penelitian perhitungan *slamming* langkah awal yang dilakukan yaitu menganalisa *seakeeping* dari kapal tersebut dengan bantuan *software* *Maxsurf Motion*. Sebelum masuk ke *Maxsurf Motion* tiap model perlu dimodelkan di *Maxsurf Modeler*. Setiap model diberikan *input* satu kecepatan kapal yaitu 12 knot, dengan sudut datang 135⁰ (*Bow Quartering Sea*) dan 180⁰ (*Head Sea*) karena pada sudut tersebut berhadapan langsung dengan area haluan kapal. Dengan tinggi gelombang 1 ,2, 3 dan 4 meter agar dapat menguji model sesuai kondisi laut Indonesia sampai tinggi gelombang yang ekstrem. Spektrum gelombang yang digunakan adalah JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*). Spektrum JONSWAP dipilih karena Laut Indonesia mirip dengan Laut Utara dan merupakan daerah kepulauan.

4.6.1 Probability of Slamming

Probability of Slamming adalah peluang terjadinya *slamming* pada kapal . Untuk mencari nilai tersebut dibutuhkan data nilai *relatif vertical motion* (M₀) tertera di tabel 8 dan 9 dan nilai *relatif vertical velocity* (M₂) pada tabel 10 dan 11 yang didapat dari hasil *running* menggunakan

software *Maxsurf Motion* sesuai dengan tinggi gelombang dan sudut datang.

Tabel 8. Nilai *Relatif Vertical Motion* Pada Tinggi Gelombang 1 dan 2 Meter

Model	Tinggi Gelombang			
	1 meter		2 meter	
	135°	180°	135°	180°
Ori	0.443	0.613	0.886	1.226
1	0.444	0.614	0.887	1.228
2	0.444	0.614	0.887	1.227
3	0.443	0.613	0.886	1.226
4	0.443	0.613	0.886	1.225
5	0.441	0.61	0.883	1.221
6	0.443	0.613	0.886	1.225
7	0.442	0.612	0.884	1.223
8	0.44	0.61	0.881	1.22
9	0.439	0.608	0.887	1.217
10	0.436	0.605	0.872	1.21

Tabel 9. Nilai *Relatif Vertical Motion* Pada Tinggi Gelombang 3 dan 4 Meter

Model	Tinggi Gelombang			
	3 meter		4 meter	
	135°	180°	135°	180°
Ori	1.33	1.839	1.772	2.452
1	1.331	1.842	1.774	2.455
2	1.331	1.841	1.773	2.453
3	1.329	1.838	1.771	2.45
4	1.328	1.838	1.77	2.45
5	1.324	1.831	1.764	2.44
6	1.331	1.84	1.772	2.452
7	1.326	1.835	1.767	2.446
8	1.321	1.83	1.76	2.439
9	1.316	1.825	1.754	2.432
10	1.307	1.815	1.742	2.419

Tabel 10. Nilai *Relatif Vertical Velocity* Pada Tinggi Gelombang 1 dan 2 Meter

Model	Tinggi Gelombang			
	1 meter		2 meter	
	135°	180°	135°	180°
Ori	0.488	0.64	0.975	1.28
1	0.488	0.641	0.976	1.281
2	0.488	0.64	0.975	1.281
3	0.487	0.64	0.975	1.279
4	0.487	0.64	0.974	1.279
5	0.486	0.638	0.972	1.275
6	0.487	0.64	0.974	1.279
7	0.486	0.639	0.973	1.278
8	0.485	0.638	0.97	1.275
9	0.484	0.636	0.968	1.272
10	0.481	0.634	0.963	1.267

Tabel 11. Nilai *Relatif Vertical Velocity* Pada Tinggi Gelombang 3 dan 4 Meter

Model	Tinggi Gelombang			
	3 meter		4 meter	
	135°	180°	135°	180°
Ori	1.463	1.92	1.949	2.559
1	1.464	1.922	1.951	2.562
2	1.463	1.921	1.95	2.56
3	1.462	1.919	1.948	2.558
4	1.461	1.919	1.947	2.557
5	1.458	1.913	1.942	2.549
6	1.464	1.922	1.95	2.56
7	1.459	1.917	1.945	2.555
8	1.455	1.913	1.939	2.549
9	1.415	1.909	1.934	2.544
10	1.444	1.901	1.924	2.534

Dari data pada tabel 8 hingga 11 yaitu nilai M_0 dan M_2 melalui perhitungan manual maka akan didapatkan nilai *probability of slamming* dari 11 model. Berikut disajikan nilai *probability of slamming* dari beberapa model yaitu

Tabel 12. Nilai *Probability Of Slamming* Di Tinggi 1 dan 2 Meter

Mode	Tinggi Gelombang			
	1 meter		2 meter	
	135°	180°	135°	180°
Ori	1.36E-11	2.04E-09	1.08E-10	1.32E-09
1	1.42E-11	1.97E-09	1.04E-10	1.28E-09
2	1.42E-11	2.09E-09	1.09E-10	1.33E-09
3	1.37E-11	2.04E-09	1.08E-10	1.32E-09
4	1.37E-11	2.04E-09	1.08E-10	1.32E-09
5	1.26E-11	1.92E-09	1.10E-10	1.35E-09
6	1.37E-11	2.04E-09	1.08E-10	1.32E-09
7	1.38E-11	2.10E-09	1.11E-10	1.37E-09
8	1.27E-11	2.01E-09	1.13E-10	1.41E-09
9	1.28E-11	2.02E-09	1.20E-10	1.53E-09
10	1.18E-11	1.99E-09	1.25E-10	1.62E-09

Pada tabel 12 merupakan rekapitulasi nilai *probability of slamming* di tinggi gelombang 1 dan 2 meter.

Tabel 13. Nilai *Probability Of Slamming* Di Tinggi 3 dan 4 Meter

Mode	Tinggi Gelombang			
	3 meter		4 meter	
	135°	180°	135°	180°
Ori	2.09E-12	1.10E-11	8.93E-15	3.12E-14
1	2.01E-12	1.06E-11	8.56E-15	2.99E-14
2	2.01E-12	1.06E-11	8.96E-15	3.13E-14
3	2.09E-12	1.11E-11	8.92E-15	3.12E-14
4	2.08E-12	1.11E-11	8.89E-15	3.12E-14
5	2.14E-12	1.14E-11	9.65E-15	3.39E-14
6	2.11E-12	1.11E-11	8.94E-15	3.13E-14
7	2.27E-12	1.21E-11	9.72E-15	3.42E-14
8	2.33E-12	1.25E-11	1.10E-14	3.91E-14
9	2.63E-12	1.43E-11	1.26E-14	4.48E-14
10	3.06E-12	1.70E-11	1.55E-14	5.60E-14

Pada tabel 13 merupakan rekapitulasi nilai *probability of slamming* di tinggi gelombang 3 dan 4 meter.

Analisis dari hasil tersebut yaitu bahwa variasi sudut *flare* dan *stem* pada setiap model memiliki pengaruh sedikit terhadap nilai *probability of slamming*. Dari kedua tabel diatas dapat dilihat angka *probability* yang sangat kecil nilainya begitu juga dengan perubahannya. Hasil dari setiap model tersebut dinyatakan semuanya sesuai dengan kriteria Nordforsk bahwa nilai *probability of slamming* yang diijinkan dibawah 0,03. Hal yang menarik dari hasil perhitungan *slamming* tiap model haluan X-bow yaitu setiap kenaikan tinggi gelombang maka nilai *probability of slamming* akan menjadi semakin kecil hal tersebut menunjukkan bahwa haluan X-bow cocok berada di gelombang laut esktrm. Sedangkan nilai *probability of slamming* yang paling kecil ada pada model 1 di tinggi gelombang 4 meter dengan sudut heading 135° dan 180° yaitu bernilai $2,99 \times 10^{-14}$ dan $8,56 \times 10^{-15}$.

Adapun perhitungan intensitas *slamming* persamaan peluang *slamming* diinterpretasikan sebagai berapa kali kapal mengalami *slamming* pada saat melaju yang terjadi dalam operasi selama T jam.

Tabel 14. Nilai *Probability Of Slamming* Di Tinggi 1 dan 2 Meter Selama 1 Jam

Mode	Tinggi Gelombang			
	1 meter		2 meter	
	135°	180°	135°	180°
Ori	7.46E-09	1.15E-06	5.92E-08	7.43E-07
1	7.77E-09	1.11E-06	5.70E-08	7.16E-07
2	7.77E-09	1.17E-06	5.98E-08	7.47E-07
3	7.46E-09	1.15E-06	5.92E-08	7.43E-07
4	7.46E-09	1.15E-06	5.92E-08	7.39E-07
5	6.87E-09	1.07E-06	6.02E-08	7.59E-07
6	7.46E-09	1.15E-06	5.92E-08	7.39E-07
7	7.52E-09	1.18E-06	6.08E-08	7.67E-07
8	6.92E-09	1.13E-06	6.19E-08	7.92E-07
9	6.96E-09	1.13E-06	6.53E-08	8.59E-07
10	6.45E-09	1.11E-06	6.83E-08	9.10E-07

Tabel 15. Nilai *Probability Of Slamming* Di Tinggi 3 dan 4 Meter Selama 1 Jam

Mode	Tinggi Gelombang			
	3 meter		4 meter	
	135°	180°	135°	180°
Ori	1.15E-09	6.22E-09	4.89E-12	1.75E-11
1	1.10E-09	5.97E-09	4.68E-12	1.68E-11
2	1.10E-09	5.96E-09	4.90E-12	1.76E-11
3	1.14E-09	6.20E-09	4.87E-12	1.75E-11
4	1.14E-09	6.20E-09	4.86E-12	1.75E-11
5	1.17E-09	6.40E-09	5.27E-12	1.90E-11
6	1.15E-09	6.23E-09	4.87E-12	1.75E-11
7	1.24E-09	6.78E-09	5.31E-12	1.92E-11
8	1.27E-09	7.03E-09	6.03E-12	2.19E-11

9	1.44E-09	8.03E-09	6.86E-12	2.51E-11
10	1.67E-09	9.50E-09	8.45E-12	3.14E-11

1. KESIMPULAN DAN SARAN

1.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa hambatan dan *slamming* kapal didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Untuk variasi sudut *flare* penurunan hambatan yang paling tinggi dari model variasi dibandingkan dengan model original yaitu terjadi di kecepatan 14 knot pada model variasi 1 (*stem* 6⁰; *flare* 10⁰) dengan presentase penurunan 0.64 % dari 385.62 KN pada model original menjadi 383.14 KN pada model variasi 1. Sedangkan untuk variasi sudut *stem* tidak terjadi penurunan nilai hambatan total pada model variasi dibanding model original.
2. Suatu kapal dinyatakan mengalami *slamming* menurut kriteria Nordforsk apabila nilai *probability of slamming* berada diatas 0,03 tetapi hasil dari analisis penelitian ini seluruh hasil berada dibawah 0,03 maka setiap model dinyatakan tidak akan mengalami peluang terjadinya *slamming*. Nilai *slamming* paling kecil ada pada model 1 dengan variasi (*stem* 6⁰; *flare* 10⁰) pada saat tinggi gelombang 4 meter yaitu bernilai 8,56x10⁻¹⁵ dan 2,99x10⁻¹⁴ dengan sudut heading 135⁰ (*Bow Quartering Sea*) dan 180⁰ (*Head sea*) selain itu haluan Ulstein X-Bow juga lebih baik bila digunakan di laut dengan kondisi tinggi gelombang yang ekstrem.
3. Model variasi yang paling optimal performanya dari segi berkurangnya hambatan yaitu sebesar 0,64 % dan kecilnya nilai *slamming* dengan hasil *probability of slamming* 8,56x10⁻¹⁵ dan 2,99x10⁻¹⁴ dibanding model original terjadi pada model 1 dengan variasi (*stem* 6⁰; *flare* 10⁰).

1.2. Saran

Dari analisa hambatan dan *slamming* dengan variasi sudut *flare* dan *stem*:

1. Perlu dilakukan analisa hambatan dengan menggunakan *software* CFD lain.
2. Perlu dilakukan analisa *slamming* dengan tinggi gelombang yang lebih ekstrem.
3. Perlu dilakukan variasi pada model haluan X- bow dengan acuan lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hidayat, M.Nurul. 2014 .Tugas Akhir . *Analisa Pengaruh Modifikasi Bentuk Haluan Kapal Terhadap Hambatan Total Dengan Menggunakan Metode CFD*.Semarang, Indonesia : Universitas Diponegoro.
- [2] Sidabalok, Andreas Parulian. 2015 .Tugas Akhir . *Analisa Perbandingan Ulstein X-Bow dengan Bulbous Bow Konvensional Terhadap Nilai Hambatan dan Seakeeping Kapal Menggunakan Metode CFD* . Semarang , Indonesia : Universitas Diponegoro.
- [3] Perwira, Bias Ari.2013.Tugas Akhir.*Analisa Perbandingan Hambatan Kapal antara Ulstein X-Bow dan Bulb Konvensional dengan Studi Eksperimen*.Surabaya, Indonesia : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4] Harnita.2011.Skripsi. Studi Pengaruh Bentuk Bulbous Bow Terhadap Tahanan Kapal Layar Motor Tradisional Terhadap Melalui Uji Model.Makassar, Indonesia : Universitas Hasanuddin.
- [5] Azmi, Fatchul Falah.2016. Tugas Akhir . *Analisa Pengaruh Pemasangan Anti Slamming Bulbous Bow Terhadap Hambatan dan Olah Gerak Kapal Anchor Handling Tug Supply Menggunakan CFD*.Semarang, Indonesia : Universitas Diponegoro.
- [6] Kamsvag.2006. *A Foreship Arrangement For A Vessel Of The Displacement Type*. W02006/096066.Ulstein Group.Norwegia.
- [7] Austal Technology.2007.*Significant Small Ships of 2006*.The Royal Institution of Naval Architects.London
- [8] Croatia Register of Shipping.2012.*Rules For The Classification of Ships Part 2 Hull*.Croatia