

ANALISA PENGARUH *TUNNEL STERN* TERHADAP HAMBATAN TOTAL DAN *VERTICAL MOTION* KAPAL *ANCHOR HANDLING TUG SUPPLY MP VELOCE* DI PERAIRAN LEPAS PANTAI NATUNA

Enky Pratama Agustian, Ahmad Fauzan Zakki¹, Samuel¹,
¹S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Email: enkypratama13@gmail.com

Abstrak

Potensi Kepulauan Riau dalam segi perminyakannya sangat besar salah satunya adalah pulau Natuna yang menjadi tempat favourite bagi para penambang minyak lokal maupun mancanegara. Kapal supply vessel, terutama offshore supply vessel adalah kapal yang sedang banyak dibuat untuk memenuhi kinerja perminyakan dunia dan menarik untuk dikaji. Permasalahan yang timbul akibat efek interaksi komponen hambatan dan gelombang pada kapal. Dari permasalahan tersebut muncullah eksperimen untuk melakukan perubahan pada buritan kapal yaitu dengan ditambahkan *tunnel stern*. *Tunnel stern* berguna untuk mengurangi hambatan yang terjadi pada buritan kapal yang disebabkan interaksi komponen hambatan. Analisa perhitungan hambatan total kapal *Supply vessel* dihitung menggunakan software berbasis CFD dan menggunakan variasi kecepatan $Fn=0.27$, $Fn=0.22$, $Fn=0.12$ serta jarak variasi rasio tinggi *Tunnel stern* 33% dan 40% dari T kapal. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa, kapal dengan *Tunnel stern* rasio tinggi 33% adalah kapal paling efektif karena dapat mengurangi hambatan sebesar 5-14%, dan kapal tersebut memiliki respon gerakan *vertical motion* yang memenuhi kriteria dan paling minimum pada kecepatan Fn 0.12.

Kata kunci : AHTS, hambatan total, *tunnel stern*, *vertical motion*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tujuan dari pembangunan sebuah kapal adalah untuk dapat melaksanakan misinya di laut dengan baik, misalnya dapat mengangkut penumpang dan barang secara aman dan nyaman, dapat mengfungsikan peralatan persenjataan dan instrumen dengan sukses dan lain sebagainya. Untuk dapat melaksanakan misinya secara sukses, maka harus dipenuhi beberapa karakteristik pokok antara lain kapal harus stabil, berlayar dengan kecepatan yang diinginkan, dapat melakukan manuver dengan baik, cukup kuat bertahan diatas gelombang ganas dan Memiliki hambatan.

Oleh karena itu dalam tahapan perencanaan yang melibatkan bidang hidrodinamika tidak cukup hanya bidang ship powering dan maneuvering yang mengandalkan teori hidrostatis untuk diperhatikan, namun *resistance* sangat penting pula untuk dipertimbangkan. Hambatan yang merupakan faktor penting terhadap pelayaran yang efisien kapal dilaut sangat mempengaruhi kerja kapal dalam melaksanakan misinya.

Serta seakeeping pada kondisi bergelombang sangat penting pula untuk dipertimbangkan.

Pada kapal *supply-vessel* masalah hambatan masih banyak dibahas dan didiskusikan karena komponen hambatannya mempengaruhi dalam membantu pembangunan rig di tengah laut dan semacamnya. Kemudian penelitian ini akan menggunakan objek kapal MP. *Veloce Supply Vessel Ship*.

Dari permasalahan yang timbul, muncullah ide untuk melakukan eksperimen penambahan *tunnel stern* pada bagian buritan kapal. Dalam kajian [1], dikatakan bahwa penambahan *tunnel stern* yang sesuai dapat mengurangi hambatan kapal, tanpa mempengaruhi *vertical motion*. Penulis dapat menyimpulkan bahwa dengan penambahan tersebut dapat mengurangi hambatan total kapal sebesar 5% pada studi numeric dan pengurangan 5% dalam full scale effective power pada kecepatan $Fn = 0.27$. Serta 4% pada studi eksperimental yang dilakukan pengujian maket

1.2 Rumusan Masalah

Anchor Handling Tug Supply MP

VELOCE merupakan kapal suplai untuk kegiatan *Offshore* di perairan natuna yang mana akan diterapkan *Tunnel Stern* dengan ukuran utama:

Length over all (Loa) : 60,00 meter
Breadth : 16,00 meter
Draft : 4,80 meter
Depth : 6,00 meter

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang maka ditentukan beberapa rumusan masalah pada Tugas Akhir ini, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *tunnel stern* terhadap hambatan total pada anchor handling tug supply vessel MP. Veloce dengan dan tanpa penerapan *tunnel stern*?
2. Menghitung dan menganalisa *vertical motion* pada kapal anchor handling tug supply vessel MP. Veloce dengan hasil hambatan terbaik *tunnel stern* dan tanpa penerapan *tunnel stern*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir sehingga sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan. Batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Tidak ada analisa ekonomis dari komparasi antara bentuk buritan kapal
2. Hanya menganalisa buritan kapal
3. Tidak menganalisa kekuatan struktur
4. Perhitungan hambatan total akibat dari fluida air
5. Analisa dan pengolahan data menggunakan software *Rhinoceros*, dan software berbasis CFD
6. Permodelan menggunakan model yang sudah ada dan dimodifikasi menjadi *tunnel stern*
7. Hanya melakukan 1 model pengujian *Towing Tank*
8. Aliran diasusikan incompressible

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah dan pembatasan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh dan nilai hambatan total pada kapal anchor handling tug supply vessel MP Veloce
2. Mendapatkan nilai *vertical motion* pada

kapal MP Veloce setelah mengalami penambahan *tunnel stern*

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Anchor Handling Tug Supply

Anchor Handling Tug Supply merupakan jenis kapal yang di fungsikan pada *offshore* dalam menangani rig/ barge, yang mengatur penempatan jangkar-jangkar pengaman posisi bagi rig/ barge tersebut. Di beberapa kasus AHTS vessel juga difungsikan sebagai kapal penyelamat darurat atau *Emergency Rescue and Recovery Vessel (ERRV)*, dari segi sistem AHTS vessel dilengkapi dengan *double winches* (derek) sebagai penarik dan penanganan jangkar, juga memiliki haluan terbuka yang dilengkapi dengan roller yang memungkinkan untuk penarikan dan menempatkan jangkar ke deck.

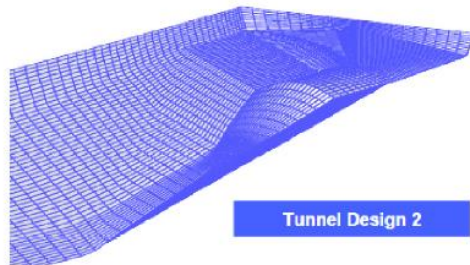
2.2. Wilayah Natuna

Secara astronomis [8], Kabupaten Natuna terletak pada titik koordinat 1016' – 7019' LU dan 105000' – 110000' BT. Kepulauan Natuna memiliki cadangan minyak bumidan gas alam terbesar di kawasan Asia Pasifik bahkan di Dunia. Natuna memiliki cadangan minyak bumi dan gas alam terbesar di kawasan Asia Pasifik Hal ini merujuk pada salah satu ladang minyak dan gas yang terletak 225 kilometer (km) sebelah utara Natuna. Kurang lebih tersimpan cadangan minyak bumi dengan volume sebesar 222 triliun kaki kubik (TCT). Selain itu, gas hidrokarbon yang bisa ditambang mencapai 46 TCT

2.3. Karakteristik Tunnel Stern

Pemakaian *tunnel stern* untuk memungkinkan pemasangan baling-baling berdiameter relatif besar dengan mengurangi ujung buritan menjadi melengkung ke dalam. Keuntungan dari *tunnel stern* ini adalah efisiensi yang lebih tinggi karena aliran

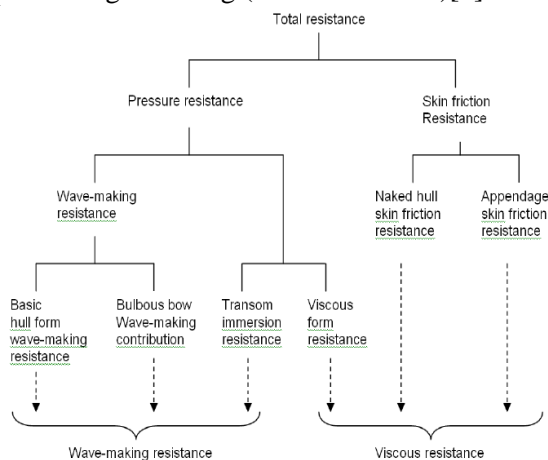
gelombang yang lebih terpusat serta bisa ditambahkan alternatif kombinasi dari penurunan sudut poros dan peningkatan ukuran baling-baling (yang mengarah ke efisiensi propeller yang lebih besar) [1]



Gambar 1. Contoh *Tunnel Stern*

2.4 Hambatan Kapal

Kapal yang bergerak maju diatas gelombang akan mengalami suatu perlawanan yang disebut hambatan. Hambatan tersebut merupakan gaya fluida yang melawan gerakan kapal, dimana sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. Berdasarkan pada proses fisiknya, hambatan pada kapal yang bergerak di permukaan air terdiri dari dua komponen utama yaitu tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser (*tangential stress*). Tegangan normal berkaitan dengan hambatan gelombang (*wave making*) dan tegangan viskos. Sedangkan tegangan geser disebabkan oleh adanya viskositas fluida. Kemudian Molland menyederhanakan komponen hambatan dalam dua kelompok utama yaitu hambatan viskos (*viscous resistance*) dan hambatan gelombang (*wave resistance*)[1].



Gambar 2. Diagram komponen hambatan

2.5 Seakeeping

Seakeeping adalah gerakan yang dipengaruhi oleh gaya-gaya luar yang disebabkan oleh kondisi air laut. Faktor luar yaitu iklim yang tidak mendukung dan mengakibatkan gelombang besar.

Dalam memperoleh perlakuan dari gelombang kapal mengalami dua jenis gerakan yaitu :

1. Gerakan Rotasi, gerakan ini merupakan gerakan putaran meliputi :
 - Rolling,
 - Pitching,
 - Yawing,
2. Gerakan Translasi (Linier), gerakan ini merupakan gerak lurus beraturan sesuai dengan sumbunya, meliputi :
 - Surging,
 - Swaying,
 - Heaving,

2.6 Computational Fluid Dynamic

Computational Fluid Dynamics (CFD)

merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu dari semua fenomena diatas.

Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

- Pre Processor
- Solver Manager
- Post Processor

3. Metodologi Penelitian

3.1. Materi Penelitian

- Data Primer

Data primer diperoleh dari hasil survei lapangan di salah satu galangan di Indonesia.

Berikut data utama ukuran kapal :

Length Over all (LOA) : 60,00 m
 Breadth (B) : 16,00 m
 Depth (H) : 6,00 m
 Draft (T) : 4,80 m

- Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari literature (jurnal, paten, dan data yang didapat pada penelitian sebelumnya).

3.2. Parameter Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada peluang

yang ditimbulkan oleh proses slamming dari variasi bentuk buritan atau *tunnel stern*.

Parameter yang dipakai adalah sebagai berikut :

- Parameter Tetap
- Dimensi properties dari lambung kapal antara lain,
1. Length water line (LWL) (m)
 2. Breadth (B) (m)
 3. Draft (T) (m)
 4. Displacement
- Parameter Peubah:
1. Bentuk buritan atau *tunnel stern*
 2. Kecepatan kapal ($0.29\text{m/s}^2 - 0.64\text{m/s}^2$)

3.3 Hambatan Kapal

Hambatan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Hambatan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. [4]

Hambatan total kapal yang melaju pada permukaan air tenang memiliki beberapa komponen hambatan, yang meliputi hambatan gesek, hambatan viskositas, hambatan gelombang, hambatan udara, dan hambatan karena bentuk badan kapal. [5]

Salah satu metode yang digunakan dalam perhitungan hambatan total kapal adalah *Holtrop & Mennen Method*, dengan rumus hambatan total kapal: [6]

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{tot} \cdot (C_f(1+k) + C_A) + \frac{R_w}{W} W \quad (1)$$

dimana :

- R_T = Hambatan total kapal (N)
- ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)
- V = Kecepatan kapal (m/s)
- S_{tot} = Luas permukaan basah kapal (m^2)
- C_f = Koefisien tahanan gesek
- $(1+k)$ = Koefisien faktor bentuk
- C_A = Koefisien tahanan udara
- R_w/W = Koefisien tahanan gelombang
- W = Gaya keatas atau *bouyancy* (N)

3.4 Response Amplitude Operator (RAO)

Respon gerakan kapal terhadap gelombang reguler dinyatakan dalam *RAO* (*Response Amplitude Operator*), dimana *RAO* adalah rasio antara amplitudo gerakan kapal

baik translasi maupun rotasi terhadap amplitudo gelombang pada frekuensi tertentu.

RAO untuk gerakan translasi merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan kapal dengan amplitudo gelombang yang keduanya dalam satuan panjang. Sedangkan gerakan rotasi merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) terhadap kemiringan gelombang yang merupakan perkalian angka gelombang, $k_w = \omega^2/g$ dengan amplitudo gelombang. [9]

$$RAO = \frac{z_0}{\zeta_0} \quad (\text{m/m}) \quad (2)$$

$$RAO = \frac{\theta_0}{k_w \zeta_0} = \frac{\theta_0}{(\frac{\omega^2}{g}) \zeta_0} \quad (\text{rad/rad}) \quad (3)$$

Untuk mendapatkan respon gerakan kapal terhadap gelombang acak dapat digambarkan dengan spektrum respon. Persamaan spektrum respon adalah:

$$S_{\zeta_r}(\omega) = RAO^2 \times S_{\zeta}(\omega) \quad (4)$$

3.5 Spektrum Gelombang

Spektrum gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Bretschneider* atau *ITTC* dengan dua parameter yaitu tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode rata-rata (T_{av}), dengan persamaan : [7]

$$S_{ITTC\zeta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right) \quad (5)$$

dimana :

ω = Frekuensi gelombang (rad/s)

$$A = 172.75 \frac{H_s^2}{T_{ave}^4}$$

$$B = \frac{691}{T_{ave}^4}$$

Spektrum gelombang yang dihasilkan sangat bergantung pada nilai frekuensi gelombang. Akibat adanya pengaruh kecepatan kapal dan sudut datang gelombang, maka frekuensi gelombang insiden (ω_w) akan berubah menjadi frekuensi gelombang papasan (ω_e), gelombang tersebut yang digunakan untuk menghitung gelombang papasan (S_e). Dengan persamaan :

$$\omega_e = \omega \left(1 - \frac{\omega V}{g} \cos \mu\right) \quad (6)$$

dimana :

- ω_e = Frekuensi gelombang papasan (rad/s)
- ω_w = Frekuensi gelombang (rad/s)
- V = Kecepatan kapal (m/s)
- g = Percepatan gravitasi (9.81 m/s²)

3.6 Root Mean Square (RMS)

RMS merupakan luasan kurva di bawah kurva spectrum respon yang dinyatakan dalam m_0 , dengan persamaan :

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_{\zeta_r}(\omega) d\omega \quad (7)$$

jika nilai RMS dari masing-masing amplitude gerakan (ζ) dinyatakan dalam $\sqrt{m_0}$ maka dinyatakan dalam persamaan :

$$(\zeta)_{av} = 1.253 \sqrt{m_0} \quad (8)$$

Kemudian untuk mendapatkan amplitude signifikan atau disebut dengan rata-rata dari 1/3 amplitude tertinggi dinyatakan dengan persamaan :

$$(\zeta)_s = 2 \sqrt{m_0} \quad (9)$$

Sedangkan luasan spektrum respon untuk kecepatan dan percepatan yang dinyatakan dalam m_2 dan m_4 dengan persamaan :

$$m_2 = \int_0^{\infty} \omega^2 S_{\zeta_r}(\omega) d\omega \quad (10)$$

$$m_4 = \int_0^{\infty} \omega^4 S_{\zeta_r}(\omega) d\omega \quad (11)$$

3.7 Blockage Corrections

Dimensi *towing tank* harus dilaporkan bersamaan dengan hasil dokumentasi pengujian. Dimensi *towing tank* harus cukup besar untuk menghindari efek dinding dan efek *blockage*. Berikut merupakan rumus yang direkomendasikan untuk menghitung *blockage correction* jika dinilai perlu. [7]

Tamura;

$$\frac{\Delta V}{V} = 0,67.m. \left[\frac{L}{B} \right]^{3/4} \cdot 1/(1-Fr_h^2) \quad (12)$$

dimana,

$$m = \frac{A_x}{A}$$

A_x = sectional area maksimum model (m²)

A = sectional area maksimum *towing tank* (m²)

L = panjang kapal (m)

B = lebar kapal (m)

$$Fr_h = \frac{V}{\sqrt{gh}}$$

4. Perhitungan dan Analisa

4.1. Pemodelan

Pemodelan dianalisa nilai hambatannya

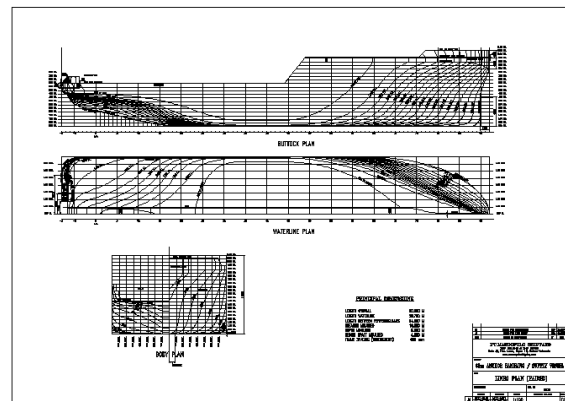
dengan menggunakan metode *CFD*, dimana hasil perhitungan dikomparasikan dengan hasil perhitungan dari metode kombinasi formula empiris, software, maupun uji *Towing Tank*.

Pada penelitian ini model yang akan di analisa menggunakan software *CFD* diskala pada ukuran tertentu agar memudahkan dalam proses perhitungan maupun pengujian. Skala yang digunakan adalah 1:100 dengan rincian sebagai berikut:

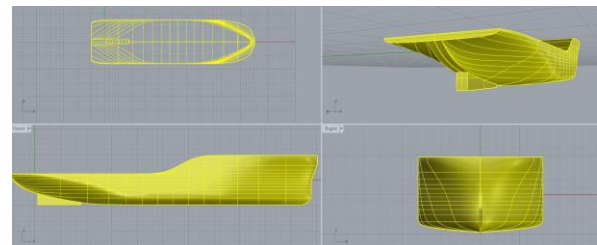
Tabel 1. Ukuran Utama Kapal AHTS

Dimensi	Skala Penuh	Model Kapal
Lpp	60 m	60 m
BOA	16 m	0,16 m
T	4,8 m	0,48 m
Cb	0,65	0,65
WSA	1125,3 m ²	0,1125 m ²
Volume	5,091 m ³	0,00509 m ³
Displasmen	2999 Ton	0,00299 Ton

Dari data ukuran utama dibuat model badan kapal dengan bantuan perangkat lunak *Autocad* dan *Rhinoceros 4.0*.

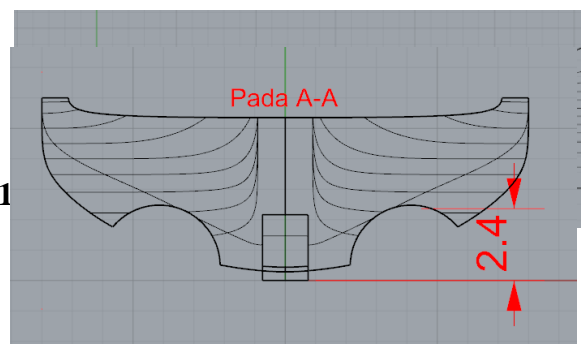


Gambar 4. Lines Plan kapal pada AutoCAD

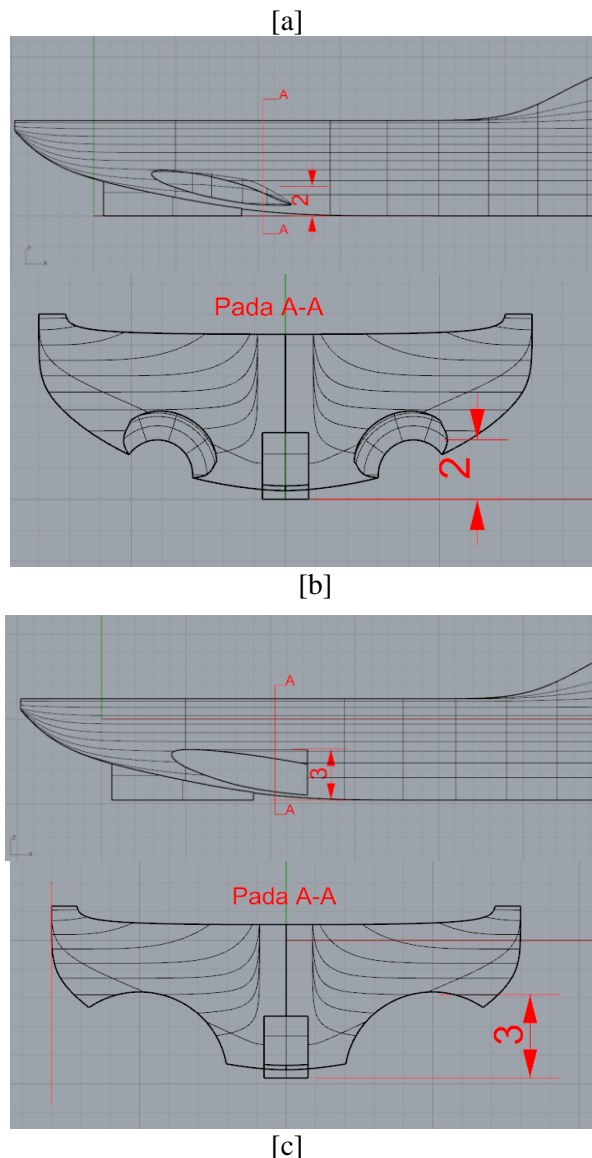


Gambar 5. Model 1 (original) AHTS

Dari hasil pembuatan model AHTS dengan *rhinoceros 4.0*, kemudian koordinat



pada buritan kapal di ubah sedemikian rupa sehingga menghasilkan bentuk buritan baru yang digunakan sebagai bentuk model dengan *tunnel stern*.



Gambar 6 [a] rasio tinggi 50% [b] rasio tinggi 42% [c] rasio tinggi 62%

model	rasio tinggi (%)	rasio tinggi (m)
1	-	-
2	42	2
3	50	2,4
4	62	3

4.2. Validasi Hambatan Kapal

Hambatan kapal didefinisikan sebagai gaya yang menahan laju kapal pada air

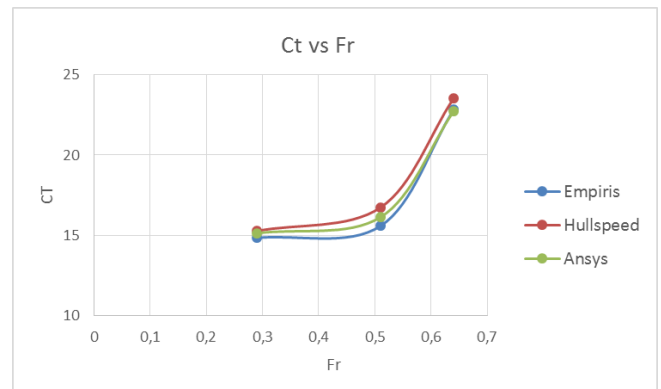
tenang dengan kecepatan konstan. Perhitungan hambatan kapal AHTS yang dihitung secara rumus empiris menggunakan formulasi Holtrop.

Tabel 2. Hambatan Kapal tanpa *tunnel stern* dengan perhitungan empiris

V (m.s ⁻¹)	Ct (x10 ⁻³)		
	Empiris	Hullsp ped	Ansys
0.12	25.17	24.89	25.19
0.22	25.90	25.82	25.88
0.27	30.53	30.58	30.68

Tabel 3. Selisih CT dengan simulasi Hullspeed dan Ansys terhadap perhitungan empiris

V (m.s ⁻¹)	Selisih CT	
	Ansys (%)	Hullspeed (%)
0.29	1.213	0.896
0.51	0.235	0.247
0.64	0.315	0.329



Gambar 7. Perbandingan Nilai Ct pada setiap metode perhitungan

Pada tabel 2 dan gambar 10 menunjukkan hasil analisis perhitungan CT model original yang menunjukkan *countour* dari hasil perhitungan dengan beberapa metode hampir sama (*valid*). Terdapatnya gap (perbedaan) nilai, bukan menjadi kerugian atau kesalahan (*error*) dalam setiap perhitungan. Munculnya keadaan tersebut merupakan hasil prediksi atau pendekatan ruusdari setiap metode perhitungan dalam memecahkan masalah.

Pada Tabel 3 menunjukkan selisih nilai CT hasil perhitungan menggunakan dua simulasi software CFD. Hasil menunjukkan tingkat keakurasian (*error*), software *Ansys* lebih baik dibandingkan dengan *Hullspeed*.

Hal ini dikarenakan *Ansys* dalam beberapa tahap masih menggunakan ukuran partikel yang cukup besar. Hal ini sangat berbeda dengan *Ansys* dimana pada tahap *meshing* (membuat objek menjadi bagian kecil), *User* dapat menentukan objek mana yang harus memiliki ukuran *mesh* lebih kecil daripada bagian lainnya (misalnya : objek kapal) sehingga hasil simulasi bisa lebih akurat.

4.3 Perhitungan Hambatan Kapal

Perhitungan hambatan kapal dengan simulasi *software CFD* diambil dari tahap *results* atau *post processor*. Data yang diperlukan untuk menentukan hambatan total adalah koefisien hambatan total (*CT*), kemudian data tersebut diolah untuk memperoleh hambatan total (*RT*) dengan persamaan 11.

$$RT = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot WSA \cdot CT \quad (11)$$

Dimana *Rt* adalah Hambatan Total (kN), ρ adalah massa jenis air laut (1025 kg/m³), *WSA* adalah luas tapermukaan basah kapal (m²), dan (*CT*) Koefisien hambatan total.

Dari data model original dan 3 variasi model yang dianalisis. Berikut hasil simulasi pada kondisi kecepatan *Fr* 0.27 nilai *CT* dan *RT* untuk skala 1:100 pada tiap-tiap model yang terdapat pada Tabel 4

Tabel 4. Perbandingan nilai *CT* dan *RT* tiap-tiap model pada *Ansys*

No.	Model	<i>CT</i> (x10 ⁻³)	<i>RT</i> (kN)
1.	Model 1	28.31	70.12
2.	Model 2	27.21	68.59
3.	Model 3	27.89	69.46

Dari Tabel 4 diperoleh nilai hambatan total dari model original dari *Ansys* adalah 24.73 kN, sedangkan model dengan hambatan terkecil terdapat pada Model 1 dengan *software CFD* adalah 22.20 kN. Selisih keduanya berdasarkan *Ansys* adalah 4,60 % lebih kecil dibandingkan hambatan total model original. Berikut perbandingan hasil simulasi antara model original dan model 2, terdapat pada gambar 4.

4.4 Analisa Hambatan dengan uji *towing tank*

Pada pengujian *towing tank*, model yang dipakai merupakan model original dan model 1 AHTS dengan kenaikan *tunnel stern* 465 karna mempunyai *CT* maupun *Rt* terkecil. dan model kapal tersebut masing masing skala

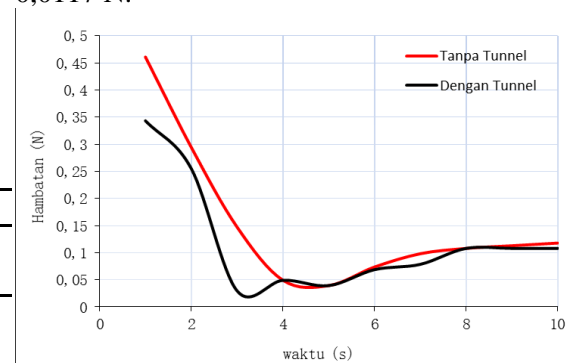


1:100.

Gambar 8. Pengujian *Towing Tank*

Berdasarkan pengujian hambatan pada *towing tank* dengan kecepatan 0,29 m/s, maka diperoleh nilai hambatan model *original AHTS* 0,07945 N dan model 2 *AHTS* dengan *Tunnel stern* 0,07253 N. Perhitungan *blockage correction* diperoleh untuk model original 0,08234 N dan model dengan *tunnel stern* 0,07571 N.

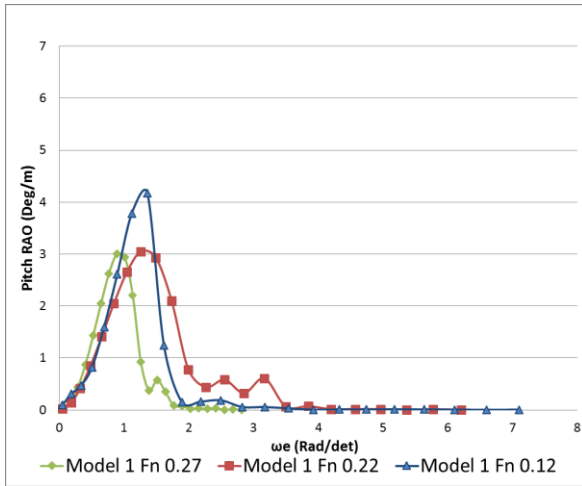
Berdasarkan pengujian hambatan menggunakan *Ansys* dengan kecepatan 0.29 m/s, maka diperoleh model *original AHTS* 0,0118 N dan model *AHTS* dengan *tunnel stern* 0,0117 N.



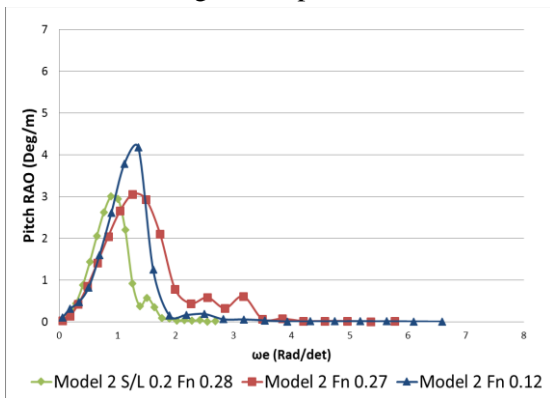
Gambar 9. Grafik tahanan kapal berdasarkan waktu

4.5 Hasil Perhitungan RAO

Respon gerakan kapal AHTS terhadap gelombang reguler dalam penelitian ini digambarkan dengan grafik RAO. Dalam penelitian ini hanya menganalisa vertical motion yang kemudian di bagi atas 2 gerakan yaitu heave dan pitch.

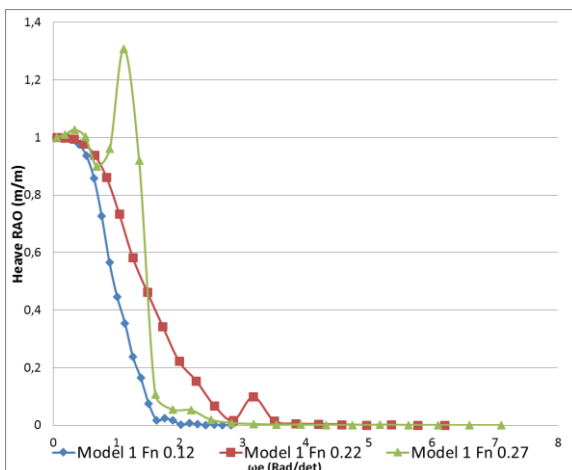


Gambar 10. Grafik RAO Pitch AHTS tanpa tunnel stern dengan kecepatan berbeda.

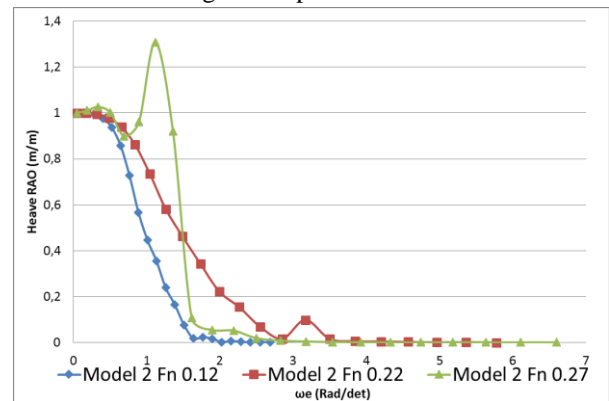


Gambar 11. Grafik RAO Pitch AHTS menggunakan tunnel stern dengan kecepatan berbeda.

Gambar 10 dan 11 menunjukkan bahwa RAO gerakan pitch kapal. Dari kurva tersebut terlihat bahwa perbedaan kecepatan membuat RAO berubah, Puncak RAO terkecil berada pada model dengan kecepatan Fn 0.27, sedangkan Puncak RAO terbesar berada pada model dengan kecepatan Fn 0.12



Gambar 12. Grafik RAO Heave AHTS tanpa tunnel dengan kecepatan berbeda.



Gambar 13. Grafik RAO Heave AHTS menggunakan tunnel dengan kecepatan berbeda

Gambar 12 dan 13 Menunjukkan RAO gerakan Heave. Dari grafik tersebut terlihat bahwa puncak RAO berbanding lurus dengan kecepatan. Semakin besar kecepatan maka puncak RAO akan semakin besar. Puncak RAO terkecil ada pada model dengan kecepatan Fn 0.12, sedangkan puncak RAO terbesar berada pada model dengan kecepatan Fn 0.27.

4.6 Spectrum Gelombang

Spektrum gelombang digunakan untuk menggambarkan kondisi gelombang laut yang sebenarnya. Kondisi tersebut digambarkan dengan perhitungan spektrum gelombang insiden dan spektrum gelombang papasan. Dalam penelitian ini gelombang signifikan (H_s) dan Periode Rata-rata (T_{av}) diambil dari [9] pada perairan laut natuna.

Tabel 11. Gelombang signifikan, Periode rata-rata

H_s	1.50	2.00	2.50	3.00
T_{av}	4.70	5.10	5.60	6.09

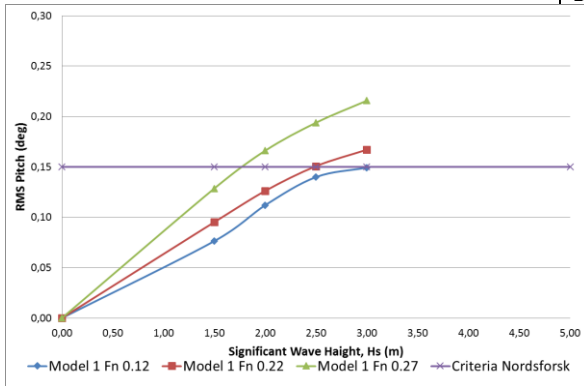
4.5 Evaluasi Kriteria Pitch dan Heave

Berdasarkan analisa yang dilakukan menggunakan metode CFD dan dilanjutkan dengan perhitungan secara manual didapatkan data sebagai berikut:

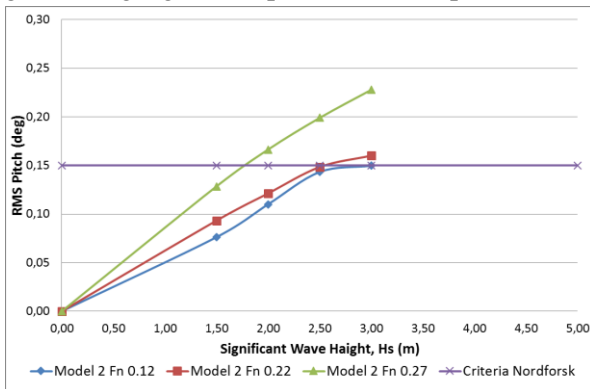
Tabel 12. RMS gerakan Pitch [5]

Pitch	M.1 Fn 0.12	M.1 Fn 0.22	M.1 Fn 0.27	M.2 Fn 0.12	M.2 Fn 0.22	M.2 Fn 0.27
Standar	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

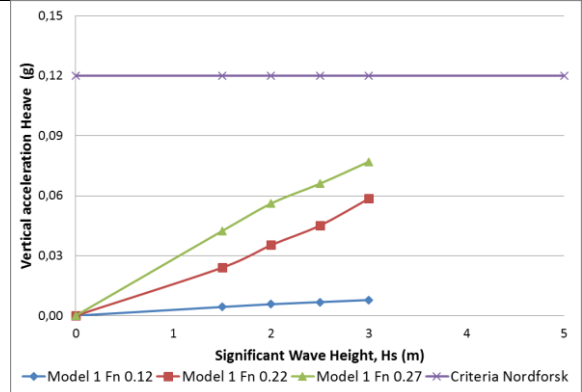
RMS	0.076	0.095	0.129	0.076	0.093	Percepatan Heave Standar	M1 Fn0.12	M1 Fn0.22	M1 Fn0.27	M2 Fn0.12	M2 Fn0.22	M2 Fn0.27
Hs 1.50						0.166	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
RMS Hs 2.50	0.112	0.126	0.166	0.11	0.121							
RMS Hs 2.50	0.139	0.151	0.194	0.143	0.148	Rms Hs 1.50	0.004	0.024	0.042	0.004	0.023	0.042
RMS Hs 3.00	0.149	0.167	0.216	0.149	0.160	Rms Hs 2.00	0.006	0.034	0.056	0.005	0.034	0.056
						Rms Hs 2.50	0.006	0.046	0.067	0.006	0.045	0.066
						Rms Hs 3.00	0.008	0.058	0.077	0.007	0.058	0.077



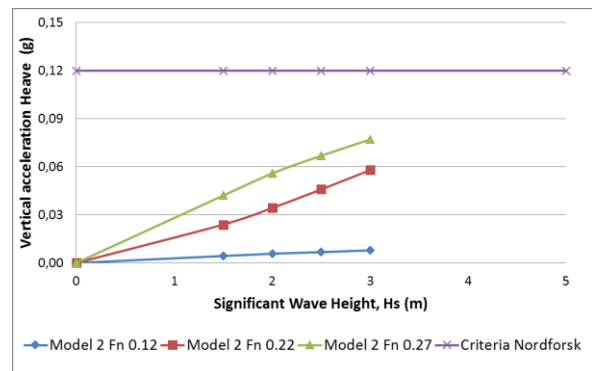
Gambar 14. RMS gerakan Pitch Vs tinggi gelombang signifikan pada AHTS tanpa tunnel



Gambar 15. RMS gerakan Pitch Vs tinggi gelombang signifikan pada AHTS menggunakan tunnel



Gambar 16. Percepatan Heave Vs tinggi gelombang signifikan pada AHTS tanpa *tunnel stern*



Gambar 17. Percepatan Heave Vs tinggi gelombang signifikan pada AHTS menggunakan *tunnel stern*

Dari data dan grafik diatas, menunjukkan kapal dengan *tunnel stern* dan tanpa *tunnel stern* memenuhi kriteria percepatan Heave yang ditentukan berdasarkan kriteria *Nordforsk merchant ship*[8].

Dari data dan grafik diatas, menunjukkan bahwa kapal yang memenuhi kriteria adalah kapal model 1 dengan Fn 0.12, dan Model 2 dengan Fn 0.12. sedangkan kapal Model 1 Fn 0.22 dan Fn 0.27 serta kapal Model 2 Fn 0.22 dan 0.27 hanya bisa masuk kriteria jika tinggi gelombang signifikan (Hs) dibawah 1.5 m.

Tabel 13. RMS gerakan Heave (Vertical Acceleration at work deck) [5]

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan terhadap model kapal *AHTS* original dan *AHTS* yang telah dilakukan penambahan *tunnel stern* maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini model yang paling optimal adalah model kapal *AHTS* dengan rasio tinggi 50% penambahan *tunnel stern*. Dimana nilai hambatan model original dari software CFD adalah 73,45 kN, sedangkan nilai hambatan model 3 sebesar 68,59 kN. Selisih keduanya sebesar 7,080% lebih kecil dibandingkan dengan hambatan total model original.
2. Pada penelitian model dengan hambatan terkecil pada F_n 0.12 didapatkan respon gerakan dari model lambung tersebut memenuhi semua kriteria vertical motion pada kriteria seakeeping untuk kapal merchant ship dan memiliki respon gerakan paling minimum.

5.2 Saran

Adapun saran- saran yang dapat dilakukan terhadap analisa ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam Pembuatan model sebaiknya diteliti dan dibuat lebih baik sehingga data yang didapatkan akan lebih akurat.
2. Hasil dari analisa ini dapat dilanjutkan untuk dijadikan sebagai studi analisa hambatan dan olah gerak yang lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Altar, Mahmet. 2013 *Anti-slamming bulbous bow and Tunnel Stern Applications on a Novel Deep-v Catamaran for improved Performance*. United kingdom. School of Marine Science Technology, New castle.
- [2] A. F. Molland, J. F. Wellicome, and P. R. Couser, "Resistance experiments on a systematic series of high speed displacement catamaran forms: variation of length-displacement ratio and breadth-draught ratio," no. 127, 1994.
- [2] D. B. Danişman, "Reduction of demi-hull wave interference resistance in fast displacement catamarans utilizing an optimized centerbulb concept," *Ocean Eng.*, vol. 91, pp. 227–234, 2014.
- [3] I. Zotti, "Medium Speed Catamaran With Large Central Bulbs : Experimental," pp. 167–174, 2007.
- [4] D. Bruzzone, A. Grasso, and I. Zotti, "Nonlinear seakeeping analysis of catamarans with central bulb," pp. 47–62.
- [5] Djatmiko. Eko B, "Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak". ITS PRESS. Surabaya. 2012.
- [6] Jamaluddin, A., "Experimental and Numerical Study of the Resistance Component Interactions of

- Catamarans,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part M J. Eng. Marit. Environ.*, vol. 227(1), pp. 51–60, 2012.
- [7] ITTC, “ITTC – Recommended Procedures Testing and Extrapolation Methods Resistance Test,” *International Towing Tank Conference*. p. 11, 2002.
- [8] Purwatiningsih A dan Masykur, “Eksplorasi dan Ekspoitasi Pertambangan Mintak dan Gas bumi di Laut Natuna Bagian Utara”. Universitas Kanjuruhan Malang. 2012.
- [9] M. Vehicles, *Dynamics of Marine Vehicles* by Rameswar Bhattacharya. 1978.