

PEMODELAN NUMERIK HIDROELASTIS KAPAL FRIGATE

A NUMERICAL MODELING OF HYDROELASTIC FRIGATE SHIP

Wibowo H. Nugroho¹, Yuniati², A. Syafi'ul²

¹ Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim-BPPT, Surabaya.

² Balai Teknologi Hidrodinamika-BPPT, Surabaya

Email: wibowo.harso@bppt.go.id

Diterima: 17 Maret 2014; Direvisi: 22 April 2014; Disetujui: 14 Mei 2014

Abstrak

Kapal perang jenis *frigate* merupakan kapal cepat yang mempunyai *froude number* berkisar antara 0,4 – 0,5. Pengaruh beban *slamming* pada kerusakan kelelahan material cukup besar dan mengganggu kinerja peralatan elektronik maupun mekanik yang ada di kapal perang saat beroperasi. Pemodelan Hidroelastis Kapal *Frigate* ESC40DV dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan suatu model *prototype* struktur lambung kapal perang kelas *frigate* yang mempunyai tingkat kehandalan yang baik terhadap beban hidroelastis *slamming* melalui pengaturan bentuk rencana garis (*lines plan*) struktur lambung tersebut. Dalam penelitian ini nilai beban hidroelastis dianalisa melalui serangkaian perhitungan menggunakan metode numerik elemen hingga, dengan beban pendekatan memakai strip teori. Dari pemodelan diketahui bahwa moda ke-dua kering (*dry mode*) getaran untuk *frigate* sebesar 5.2267 Hz dan saat di air mode ke-dua (*wet mode*) bergeser menjadi sebesar 5.7142 Hz dikarenakan adanya tambahan damping hidrodinamika. Respon harmonik *slaming* maksimum untuk tekanan dan tegangan struktur pada badan *frigate* terjadi pada 6,3 MPa dan 69.45 MPa.

Kata kunci: kapal *frigate*, beban hidroelastis, *slamming*, metode elemen hingga.

Abstract

Frigate warships are fast boats that have froude numbers ranging from 0.4 to 0.5. The effect of slamming loads on material fatigue damage is quite large and disrupts the performance of electronic and mechanical equipment that are on warships when operating. Hydroelastic Modeling of ESC40DV Frigate Vessels is carried out using the finite element method. This study aims to produce a prototype model of the frigate class warship hull structure that has a good level of reliability against hydroelastic slamming loads through the arrangement of the lines plan of the hull structure. In this study the value of hydroelastic load was analyzed through a series of calculations using numerical finite element methods, with the load approach using the theoretical strip. From the modeling it is known that the dry mode of vibration for the frigate is 5.2267 Hz and when in the second mode water (wet mode) shifts to 5.7142 Hz due to the addition of hydrodynamics. The maximum harmonic slaming response for pressure and stress structures in the frigate body occurs at 6.3 MPa and 69.45 MPa.

Keywords: *frigate ship, hydroelastic load, slamming, finite element method*

PENDAHULUAN

Berkaitan dengan kemandirian bangsa dalam bidang militer riset dan pengembangan Alusista dalam negeri adalah suatu keharusan untuk melakukan desain dan pembangunan kapal perang yang murni oleh bangsa Indonesia. Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) merupakan suatu negara maritim yang besar dimana luas lautan ini hampir mencapai dua kalinya dari luas daratan di lingkup NKRI. Dengan kondisi seperti ini adalah wajar dan masuk akal bila NKRI mempunyai angkatan laut yang kuat dimana tentunya mempunyai suatu armada kapal tempur yang handal untuk mempertahankan dan mengamankan kedaulatan negara. Tentunya dengan adanya kemandirian bangsa di bidang teknologi kemiliteran akan menjadikan kerangka sistem inovasi nasional (Sisnas) berjalan dengan melibatkan semua pihak yang terkait (*stake holder*). Kegiatan penelitian ini mengusulkan suatu kajian tentang kapal perang jenis *frigate* yang sekiranya harus dimiliki oleh NKRI karena kemampuan menyerang dan menyergap pihak musuh. Riset ini bertujuan untuk menghasilkan suatu model *prototype* struktur lambung kapal perang kelas *frigate* yang mempunyai tingkat kehandalan yang baik terhadap beban hidroelastis *slamming* melalui pengaturan bentuk rencana garis (*lines plan*) struktur lambung tersebut. Dalam penelitian ini nilai beban hidroelastis dianalisa melalui serangkaian perhitungan menggunakan metode numerik elemen hingga, dengan beban pendekatan memakai strip teori.

Dikarenakan riset ini adalah untuk aplikasi militer dan bersifat rahasia sehingga tidak banyak publikasi mengenai riset tentang lambung kapal perang. Diharapkan dengan adanya riset ini merupakan salah satu kontribusi dari peneliti dan perekayasa untuk mewujudkan NKRI yang berdaulat dan mandiri dalam pengadaan alat utama sistem persenjataan. Hal ini tentunya sangat bermanfaat dalam mendukung kemandirian bangsa untuk membuat kapal perang *frigate*.

Usaha untuk menimalkan respon getaran dari pengaruh *slamming* dan *whipping* ini dapat memperpanjang umur pakai struktur badan kapal dan peralatan baik mekanik maupun elektronika di atas kapal. Dengan adanya teknologi rancangan bentuk haluan kapal *frigate* ini, problem getaran karena efek *slamming* dan *resonansi* beban gelombang pada kapal perang *frigate* dapat teratasi, seperti kelelahan struktur

plat kapal pada daerah bangunan atas kapal atau ruang mesin serta pondasi, berkurangnya kenyamanan penumpang dan awak kapal, serta rusak atau tak berfungsi dengan baik peralatan mekanik dan listrik.

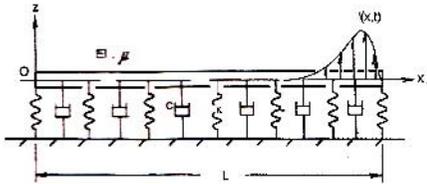
Dengan penerapan desain lambung kapal *frigate* ini tentunya dapat mengefektifkan dan mengefisienkan serta memperpanjang masa pakai kapal. Status teknologi dari hasil penelitian ini tentunya sudah pada taraf aplikasi langsung pada dunia industri, dimana pihak pengguna dalam hal ini TNI – AL dapat langsung menerapkan bentuk lambung hasil penelitian ini untuk kapal perang jenis *frigate* desain baru sesuai dengan hasil uji beban hidroelastis yang diperoleh dari penelitian ini.

Hasil riset ini merupakan solusi teknis yang diharapkan secara militer akan mengurangi ketergantungan kita terhadap negara lain dalam hal teknologi militer. Signifikansi dari riset ini adalah didapatnya sebuah desain depan lambung kapal *frigate* yang secara teknis bisa mengurangi beban *slamming* yang terjadi sehingga meminimalkan besaran dan kejadian *whipping* dan *springing*.

Untuk masa depan riset ini akan tetap berguna sebagai acuan untuk kapal perang yang berkecepatan tinggi dan berukuran sangat ramping. Secara langsung hasil penelitian ini akan bermanfaat bagi pihak militer dan industri maritim pada umumnya. Karena teknologi militer sangat mahal, ketergantungan terhadap bangsa lain pada teknologi ini sangatlah tidak ekonomis. Kemampuan untuk merancang bangun teknologi militer khususnya dalam bidang perkapalan tentunya akan sangat berarti secara ekonomis dan kedaulatan bagi bangsa Indonesia. Selain itu bagi pihak galangan kapal dengan menggunakan desain bangsa sendiri maka biaya konsultasi dapat ditekan sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomis dari suatu pembangunan kapal. Penggunaan kemampuan desain kapal perang dalam negeri tentunya secara signifikan menekan biaya produksi pembuatan kapal sehingga dalam hal secara keseluruhan negara dan bangsa akan diuntungkan. Dan tentunya dari hal ini dapat meningkatkan nilai ekonomis dari kegiatan industri militer dan maritim pada umumnya. Untuk selanjutnya jika NKRI mempunyai kemandirian dalam teknologi militer maka rakyat akan merasa aman dan sejahtera. Keadaan yang aman dan sejahtera ini tentunya akan berdampak positif pada sektor – sektor lain.

TINJAUAN PUSTAKA

Model getaran dari struktur lambung kapal *frigate* secara sederhana dapat diwakilkan berupa sistem balok menerus yang uniform (*uniform continous beam*), seperti diperlihatkan pada gambar 1. di bawah ini.



Gambar 1. Model getaran dari lambung kapal

Dalam sistem ini lambung kapal *frigate* saat berlayar ini ditumpu dengan pondasi elastik uniform dengan kekakuan per unit panjang k , yang mewakili pegas daya apung dari air (berat jenis dari air laut dikalikan dengan potongan melintang kapal *frigate*). Pondasi ini mempunyai koefisien redaman yang uniform c , untuk mewakili redaman hidrodinamika. Massa kapal per unit panjang adalah (termasuk di dalamnya massa tambah hidrodinamika) dan kekakuan uniformnya adalah EI , dimana E adalah modulus elastisitas material kapal dan I adalah moment inertianya. Kapal *frigate* ini ini mendapat gaya eksitasi getaran baik dari peristiwa “whipping” dan/atau “springing” Persamaan differensial gerakan dari sistem getaran pada Gambar 1 tersedia di hampir semua buku mengenai mekanika getaran. Dengan melambangkan $w(x,t)$ sebagai perpindahan gerak getaran vertikal kapal *frigate*, persamaan ini dapat ditulis sebagai berikut;

$$EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \nu I \frac{\partial^5 w}{\partial x^4 \partial t} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + c \frac{\partial w}{\partial t} + kw = f(x,t) \quad (1)$$

Selain bagian ke 2 dari persamaan (1) di atas adalah bentuk umum dari persamaan balok Euler untuk pondasi elastik. Bagian ke dua dari persamaan (1) ini merupakan bentuk viscoelastik dari hukum tegangan – regangan untuk material balok, dimana ν merupakan konstanta viscoelastik. Bagian ke dua dan ke empat dari persamaan (1) terdapat turunan pertama terhadap waktu dari perpindahan, dimana hal ini menunjukkan adanya redaman (damping), dimana untuk c adalah redaman hidrodinamika dan ν untuk koefisien redaman material dalam hal ini lambung kapal *frigate*.

Pada model hidroelastis, persamaan gerak dan getaran dapat disatukan kedalam suatu persamaan umum yaitu;

$$[k] + [C] - i\omega([d] + [B(\omega)]) - \omega^2([m] + [A(\omega)])\{\xi\} = \{F\} \quad (2)$$

Dimana k adalah kekakuan struktur kapal, d redaman struktur, m merupakan massa struktur, C kekakuan hidrodinamika (restoring stiffness), $B(\omega)$ adalah damping hidrodinamika, $A(\omega)$ massa tambah, ξ amplitudo modal, F merupakan eksitasi gelombang dan ω adalah frekuensi enkonter.

Dalam suatu persamaan getaran penentuan frekuensi natural dari suatu sistem sangatlah penting, begitu juga dalam sistem getaran lambung *frigate* ini. Hal ini dapat dilakukan dengan menghilangkan redaman dan gaya eksitasi dari sistem getaran tersebut pada persamaan (2) di atas. Selanjutnya akan diperoleh bentuk moda getaran (mode shape) dari sistem getaran tersebut. Dimana pengetahuan tentang moda getaran adalah frekuensi natural terendam (wet mode) dari badan kapal yang sangat penting dalam hubungannya dengan kejadian springing. Dalam menyelesaikan persamaan (1) ada hal – hal yang perlu diperhatikan yaitu bergabungnya persamaan–persamaan hidrodinamika untuk penentuan beban eksitasi, massa tambah dan redaman gerakan (hydrodynamic damping) dengan persamaan–persamaan elastisitas material yaitu tegangan – regangan dan redaman struktur (structural damping).

METODE ELEMEN HINGGA

Perpindahan δ dari pegas sederhana yang terkena gaya tarik p pada ujungnya diberikan oleh $p = k \delta$ dimana k adalah kekakuan. Alternatifnya, $\delta = fp$ dimana f adalah fleksibilitas dan $f = k^{-1}$. Jika gaya dan perpindahan tidak segaris dari pegas atau anggota struktur tetapi merupakan kumpulan dari koordinat Cartesian, kekakuan ini akan berbeda dalam tiga arahnya, secara umum.

$$P_1 = k_{11} \delta_1 + k_{12} \delta_2 \quad (3)$$

Dan
$$P_2 = k_{21} \delta_1 + k_{22} \delta_2 \quad (4)$$

Pasangan di atas ditulis dalam bahasa aljabar matriks (5).

$$P = Kd \quad (5)$$

P adalah sekumpulan yang lengkap dari gaya terpakai

dan d adalah perpindahan yang dihasilkan. K disebut dengan matriks kekakuan dan dibentuk dari faktor k_{11} yaitu anggota matrik kekakuan (submatrik). Sebagai contoh, periksalah suatu anggota struktur yang terkena beban p_x dan p_y dan momen m pada masing – masing ujung yang menyebabkan perpindahan δ_x , δ_y dan θ (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Anggota struktur yang terkena beban p_x dan p_y dan momen m

Untuk kesetimbangan,

$$m_1 + m_2 + p_{y2}l = 0 = m_1 + m_2 + p_{y1}l \quad (6)$$

$$\text{juga} \quad p_{x1} + p_{x2} = 0 \quad (7)$$

Untuk elastisitas,

$$p_{x1} = p_{x2} = \frac{EA}{l}(\delta_{x1} - \delta_{x2}) \quad (8)$$

Dari analisa kemiringan lendutan dapat diperoleh,

$$m_1 = \frac{6EI}{l^2}\delta_{y1} + \frac{4EI}{l}\theta_1 - \frac{6EI}{l^2}\delta_{y2} + \frac{2EI}{l}\theta_2 \quad (9)$$

Persamaan ini dapat diatur kembali menjadi (10);

$$\begin{bmatrix} p_{x1} \\ p_{y1} \\ m_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{x1} \\ \delta_{y1} \\ \theta_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{x2} \\ \delta_{y2} \\ \theta_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\text{atau} \quad p = k_{11}\delta_{11} + k_{12}\delta_{12}$$

Contoh yang sangat sederhana ini cukup untuk menunjukkan bahwa permasalahan satuan dapat di buat dalam bentuk matrik. Ini juga menunjukkan bahwa kita dapat menggunakan matematika aljabar yang hebat ini untuk menyelesaikan permasalahan struktur yang mana sangat kompleks untuk diselesaikan. Lebih jauh lagi, komputer telah siap diprogram untuk menyelesaikan matriks tersebut. Permasalahan dasar merupakan inverse dari matriks untuk mendapatkan perpindahan yang muncul dari

aplikasi beban yakni,

$$d = K^{-1}P \quad (11)$$

jika regangan dihubungkan dengan perpindahan,

$$\epsilon = Bd \quad (12)$$

Untuk bidang regangan sebagai contoh,

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{bmatrix} = Bd \quad (13)$$

Tegangan dihubungkan dengan regangan.

$$\sigma = D\epsilon \quad (14)$$

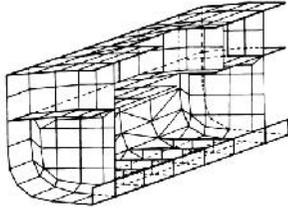
D adalah konstanta elastik, yang mana untuk bidang tegangan untuk bahan isotropis adalah,

$$D = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2}(1-\nu) \end{bmatrix} \quad (15)$$

Ada juga hubungan yang lain yang sangat berharga seperti matriks transformasi yang merubah sumbu acuan. Hal ini bersama – sama membentuk alat yang berguna untuk menyelesaikan permasalahan menggunakan teknik elemen hingga. Analisa elemen hingga didekati secara garis besar sebagai berikut:

- Struktur dibagi dengan garis – garis imajiner yang bertemu pada nodal, membentuk elemen hingga yang sering berupa segitiga atau segi empat dan bidang (tetapi bisa berupa tak beraturan dan tiga – dimensi)
- Untuk setiap elemen, fungsi perpindahan diturunkan yang menghubungkan perpindahan di setiap titik pada elemen ke perpindahan pada nodal. Dari perpindahan ini regangan ditemukan dan dari regangan, tegangan diturunkan.
- Gaya – gaya dari masing masing nodal ditentukan ekuivalen dengan gaya – gaya sepanjang batas dari elemen.
- Perpindahan dari elemen dibuat sesuai(kompatibel) dengan elemen didekatnya(hal ini tidak selalu berhasil)
- Keseluruhan kumpulan dari beban terpakai dan gaya internal diatur dalam kesetimbangan.

Gambar dari potongan struktur kapal yang didiskritisasi oleh metode elemen hingga diperlihatkan pada Gambar 3. di bawah ini,



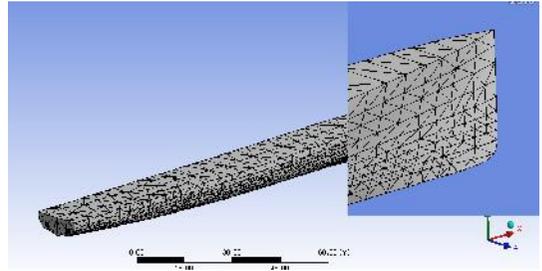
Gambar 3. Penegar - penegar kapal yang didiskritkan oleh elemen hingga

PEMODELAN NUMERIK

Untuk menyelesaikan persamaan (1) yang digambarkan secara sederhana pada Gambar 1. Maka dilakukan pemodelan terhadap badan kapal *frigate* dengan diskritasi melalui metode elemen hingga dimana badan kapal didekati dengan perhitungan modulus penampang tengah kapal (*MidShip*) sebagai balok berongga yang diperlihatkan pada sebelumnya. Dari *midship* ini kemudian struktur kapal mengikuti bentuk badan kapal dengan ketebalan yang tetap seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4, dimana hal ini menunjukkan tahap pemodelan dari kapal *frigate* ESC40DV. *Type ESC40DV* dipilih karena mempunyai performa *seakeeping* yang baik (lihat referensi [7]). Ukuran utama dan *Lines Plan* kapal *frigate* ESC40DV dapat dilihat pada tabel.1 dan gambar 4. di bawah ini.

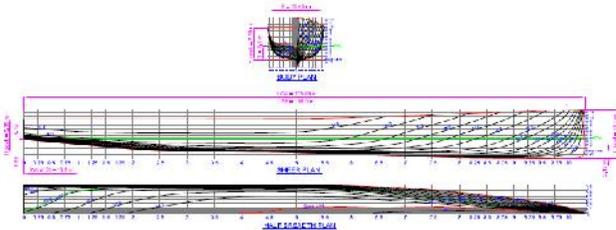
Tabel 1. Ukuran Utama Kapal Frigate

No.	Frigate Hull Types	L (m)	B (m)	T (m)	D (m)	Δ (ton)
1	ESC40DV	168	15.45	4.1	10.387	5243.9



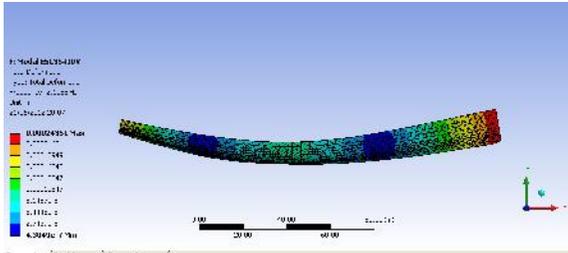
Gambar 5. Diskritisasi dengan triangular elemen badan Kapal *Frigate* ESC40DV

Secara garis besarnya seluruh badan kapal akan didiskritasi menggunakan triangular elemen kemudian kondisi batas yang dikenakan pada model tersebut adalah kondisi hidrodinamika berupa koefisien dan beban yang bekerja pada badan kapal secara dinamis yang telah diturunkan pada bagian – bagian sebelumnya dari laporan ini. kapal *frigate* akan diteliti perilaku elastis yang dinamis dimana tentunya akan terlibat analisa mode shape dan reaksi dinamis (getaran) karena spektrum beban gelombang. Untuk mendapatkan respon harmonis dari kapal *frigate*, maksimum respon dari frekuensi spektrum dari tegangan normal digunakan sebagai eksitasi harmonis untuk kapal *frigate*. Kemudian untuk mendapatkan tapak jejak (*time history*) dari frekuensi respon harmonis dilakukan transformasi domain frekuensi ke domain waktu, untuk frekuensi terpilih terutama pada frekuensi – frekuensi mendekati resonansi. Hasil – hasil dari analisa numerik diperlihatkan pada Gambar 6 – 12. Dimana gambar (6) adalah mode *shape* pertama untuk kondisi kering (*dry mode*), gambar (7) menunjukkan mode *shape* kedua untuk kondisi kering (*dry mode*) pada frekuensi 5.2267 Hz sedangkan gambar (8) adalah mode *shape* kedua untuk kondisi basah (*wet mode*) dengan koefisien *slamming* pada frekuensi 5.7142 Hz, gambar (9) merupakan respons spektrum kondisi *slamming* dan gambar (10) adalah respons harmonik kondisi *Slamming* sebesar 6.3 MPa, gambar (11) merupakan sudut fasa respons harmonik kondisi *slamming* dan yang terakhir Gambar (12) merupakan tapak jejak (*Time History*) respons harmonik kondisi *slamming* sebesar 69.45 MPa.

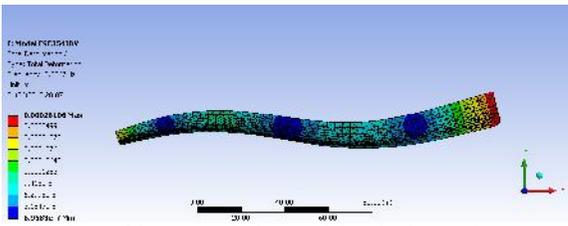


Gambar 4. *Lines Plan* dari Enlarge Ship Concept

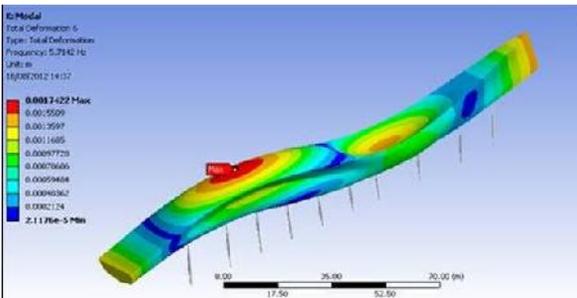
Pemodelan Numerik Hidroelastis Kapal Frigate
(Wibowo H. Nugroho, Yuniati, A. Syafi'ul)



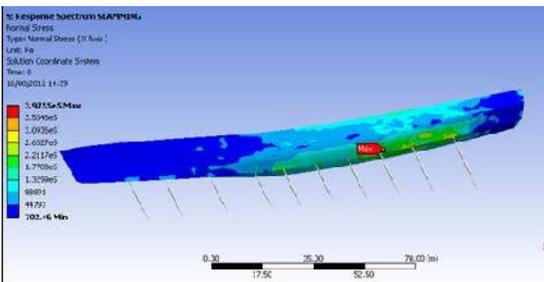
Gambar 6. Mode shape pertama untuk kondisi kering (*dry mode*) sebesar 2.1055 Hz



Gambar 7. Mode shape kedua untuk kondisi kering (*dry mode*) sebesar 5.2267 Hz

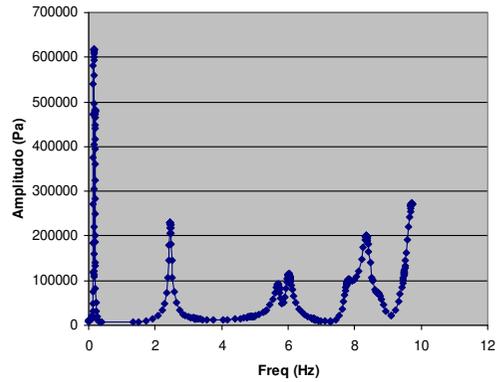


Gambar 8. Mode shape kedua untuk kondisi basah (*wet mode*) dengan koefisien *slamming*



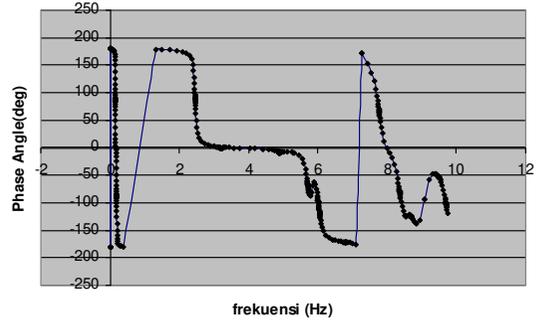
Gambar 9. Respons spektrum kondisi *slamming*

SLAMMING ESC40DV



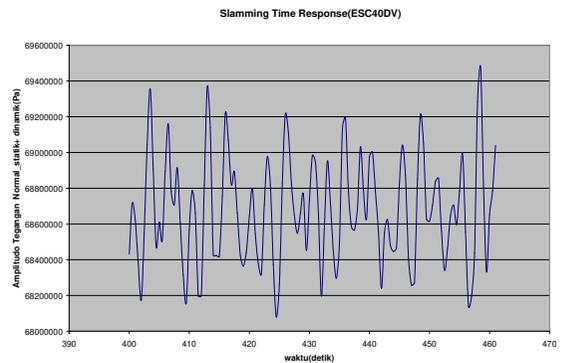
Gambar 10.

Respons Harmonik kondisi *Slamming* sebesar 6.3 MPa



frekuensi (Hz)

Gambar 11. Sudut Fasa Respons Harmonik kondisi *Slamming*



Gambar 12.

Tapak Jejak (*Time History*) Respons Harmonik kondisi *Slamming* sebesar 69.45 MPa

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini sangat dibutuhkan untuk memahami perilaku hidroelastik model kapal *frigate*

dimana pada moda ke-dua kering (*dry mode*) getaran untuk *frigate* sebesar 5.2267 Hz dan saat di air mode ke-dua (*wet mode*) bergeser menjadi sebesar 5.7142 Hz hal ini dikarenakan adanya tambahan damping hidrodinamika. Respon harmonik *slaming* maksimum untuk tekanan dan tegangan struktur pada badan *frigate* terjadi pada 6,3 MPa dan 69.45 MPa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ungkapan terimakasih ditujukan kepada Kementerian Negara Riset dan Teknologi atas bantuan dana melalui InSinan tahun anggaran 2012.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hermundstad A, " **Springing and whipping of ships**", Lecture notes in Hydroelasticity, MARINTEK (2007)
- [2] Inman J. Daniel", **Engineering Vibration**", Prentice – Hall, Inc (1994)
- [3] Ivo SENJANOVIĆ, Šime MALENICA, Stipe TOMAŠEVIĆ, Smiljko RUDAN, , " **Methodology of Ship Hydroelasticity Investigation**", **BRODOGRADNJA 58**(2007), 133-145
- [4] Rawson KJ, Tupper EC, " **BASIC SHIP THEORY Vol 1 and 2**", Butterworth and Heinemann (2001)¥
- [5] Formation Design System Pty Ltd, " **User Manual Seakeeper**", Windows Version 12 (1984 – 2006)
- [6] Vorus, S, William, " **VIBRATION**", The Principle Naval Architecture Series (2010)
- [7] Thomas Eefsen, Frans van Walree, Daniele Peri, Peter van Terwisga, Hans Otto Kristensen, Roberto Dattola, Marcel Visser, " **Development of Frigate Designs with good Seakeeping Characteristics**", 9th Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures Luebeck-Travemuende, Germany © 2004 Schiffbautechnische Gesellschaft e.V