

# Perhitungan Frekuensi Natural Kapal Frigate Menggunakan Metode Kumai

## *Natural Frequency Calculation of A Frigate Ship Using Kumai Method*

Nanang JH Purnomo<sup>1</sup>, Wibowo H Nugroho<sup>1</sup>, Endah Suwarni<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim, BPPT, Kompleks ITS Sukolilo, Surabaya

<sup>2</sup>Balai Teknologi Hidrodinamika, BPPT, Kompleks ITS Sukolilo, Surabaya

Email: nanang.joko@bppt.go.id

Diterima: 4 Februari 2014; Direvisi: 4 Maret 2014; Disetujui: 4 April 2014

### Abstrak

Kejadian slamming pada kapal frigate merupakan respon transien yang dihasilkan dari lambung haluan kapal saat mengangguk atau menghempas ke bawah, yang umumnya menginduksi frekuensi rendah terutama pada moda pertama frekuensi alami badan kapal. Paper ini membahas metode pendekatan perhitungan frekuensi natural badan kapal frigate moda pertama dengan metode Kumai yang telah berhasil diaplikasikan juga pada kapal-kapal niaga. Berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh bahwa perhitungan pendekatan frekuensi natural pada kapal dengan metode Kumai dapat pula diaplikasikan pada kapal jenis frigate.

**Kata kunci:** frekuensi natural, kapal frigate, metode Kumai

### Abstract

*The slamming on a frigate vessel is a transient response that is produced from the hull of the ship when the bow raises from the water and subsequently impacts on it. These impact forces generally induce a low frequency especially in the first mode of the natural frequency of the ship's body. This paper discusses the method of estimating of the natural frequency of the first mode of frigate ship with the Kumai method which has been successfully applied to commercial vessels. Based on the results of this study it was found that the Kumai method can also be applied to frigate type vessels.*

**Keywords:** natural frequency, frigate ship, Kumai method

### PENDAHULUAN

Kapal perang jenis frigate termasuk dalam kategori kapal cepat dimana mempunyai froude number berkisar 0,4 – 0,5. Untuk kecepatan tinggi tersebut kapal frigate harus mampu berlayar menembus perairan dengan gelombang yang tinggi. Seperti diketahui kapal frigate mempunyai sarat kapal yang rendah kemudian karena harus memertahankan kecepatan di kondisi laut yang buruk maka kapal ini dipastikan sering mengalami kejadian slamming (hempasan). Tidak hanya itu kecepatan tinggi dan sarat

rendah juga menyebabkan frekuensi encounter gelombang yang tinggi pula sehingga efek springing dapat dengan mudah terjadi. Kejadian slamming merupakan respon transien yang dihasilkan dari lambung haluan kapal saat mengangguk atau menghempas ke bawah, yang umumnya menginduksi frekuensi rendah terutama pada moda pertama frekuensi alami badan kapal. Pengaruh beban slamming pada kerusakan kelelahan material cukup besar terutama kapal yang ramping dan berkecepatan tinggi seperti kapal jenis frigate. Kemudian jika

frekuensi encounter beban gelombang beresonansi dengan frekuensi struktur kapal perang maka akan terjadi getaran pada badan struktur kapal pada waktu tertentu (steady state) dimana kejadian ini disebut dengan efek springing. Kejadian "springing" ini sangat berkontribusi pada kelelahan struktur (fatigue) kapal perang. Selain itu kejadian whipping & springing ini juga dapat mengganggu kinerja peralatan elektronik maupun mekanik yang ada di kapal perang saat beroperasi. Sehingga kajian beban dinamis berupa efek "whipping" dan "springing" sangat diperlukan dalam mendesain kapal perang.

Usaha untuk meminimalkan respon getaran dari pengaruh slamming dan whipping ini dapat memperpanjang umur pakai struktur badan kapal dan peralatan baik mekanik maupun elektronika di atas kapal. Penerapan 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.

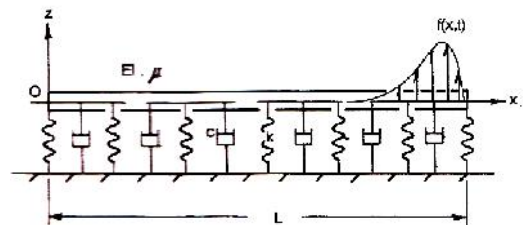
Paper ini membahas metode pendekatan perhitungan frekuensi natural badan kapal frigate moda pertama dengan metode Kumai yang telah berhasil diaplikasikan juga pada kapal-kapal niaga. Dimana pada moda pertama frekuensi alami badan kapal tersebut merupakan induksi frekuensi rendah kejadian slamming yang merupakan respon transien yang dihasilkan dari lambung haluan kapal saat mengangguk atau menghempas ke bawah. Sehingga kejadian resonansi kapal dapat dihindari jika frekuensi natural moda pertama diketahui lebih dahulu.

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. Penerapan 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. 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.

## DASAR TEORI

Model getaran dari struktur lambung kapal frigate secara sederhana dapat diwakilkan berupa sistem balok menerus yang uniform (uniform continues beam), seperti diperlihatkan pada gambar 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 inertiannya. 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 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 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(ω) adalah damping hidrodinamika, A(ω) massa tambah, amplitudo modal, F merupakan eksitasi gelombang dan ω adalah frekuensi encounter.

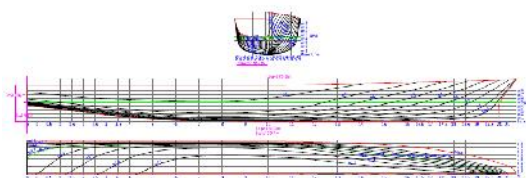
Dalam suatu persamaan getaran penentuan frekuensi natural dari suatu sistem sangatlah penting, begitu juga dalam sistem getaran lambung frigate ini. Hal ini dapat dilakukan dengan menghilangkan redaman dan gaya eksitasi dari sistem getaran tersebut pada persamaan (2) diatas. Selanjutnya akan diperoleh 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). Dalam penelitian ini koefisien – koefisien dan gaya hidrodinamika diperoleh dengan mengaplikasikan linear strip theory yang kemudian digunakan sebagai masukan pada model struktur badan kapal yang telah terdiskrit menggunakan elemen hingga.

Untuk kondisi tanpa redaman dan eksitasi maka diperoleh frekuensi natural dari kapal frigate saat di air, dengan demikian persamaan 2 diatas menjadi:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m + A(\omega)}} \quad (3)$$

## METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini perhitungan frekuensi natural dilakukan pada kapal frigate dari hasil pekerjaan Thomas dkk (2004) [5]. Perlu diketahui karena riset ini termasuk kategori riset militer jadi tidak begitu banyak informasi yang didapat. Beruntungnya ada sebuah kajian yang cukup baru oleh Thomas Eefsen dkk (2004) [5] mengenai bentuk badan (hull) dari frigate dari segi kinerja gerak kapal (seakeeping) yang sangat berguna bagi penulisan ini sebagai acuan pembuatan rencana garis(lines plan). Pembuatan rencana garis ini sangat vital dan mengkonsumsi waktu cukup lama karena hanya berdasarkan gambar body plan atau proyeksi depan badan kapal serta tidak tersedianya data offset sehingga harus membuat sendiri berdasarkan data ukuran utama pada paper tersebut. Rencana garis untuk masing-masing kapal frigate diperlihatkan pada Gambar 2. untuk kapal frigate tipe *Parental Hull Form (PHF)*, Gambar 3. untuk kapal frigate tipe *Centre of Extrem Floatation Aft (COFEA)*, Gambar 4. untuk kapal frigate tipe *Axe Bow (AXE20)*, Gambar 5. untuk kapal frigate tipe *Enlarge Ship Concept (ESC40DV)*. Selanjutnya ukuran utama dari kapal-kapal frigate tersebut diperlihatkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Rencana garis dari Frigate Parental Hull Form (PHF)

Perhitungan Frekuensi Natural Badan Kapal Frigate Menggunakan Metode Kumai (Nanang JH Purnomo, Wibowo H Nograho, Endah Suwarni)

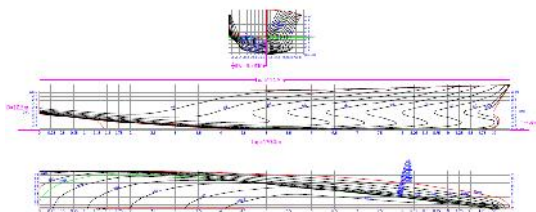
(displacement), termasuk massa tambah nyata (tons), L adalah panjang kapal, B lebar kapal di midship, Tm adalah sarat rata – rata (m)

Sebagai pendekatan untuk getaran lebih dari 2 nodal digunakan metode dari Johannesen dan Skaar(1980) dimana berlaku untuk kapal muat (cargo), curah ataupun tanker. Persamaan itu ditulis sebagai berikut;

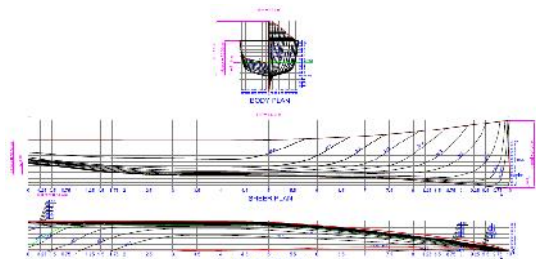
$$N_{nv} \approx N_{2v}(n-1)^\alpha \quad (5)$$

dimana  $\alpha = 0,845$  untuk kapal kargo  
 $= 1,0$  untuk kapal curah  
 $= 1,02$  untuk kapal tanker

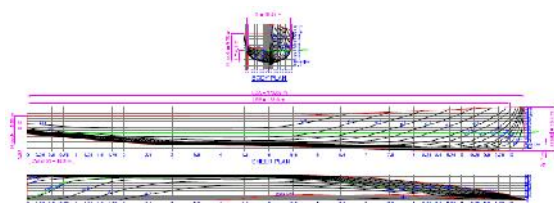
$N_{2v}$  adalah frekuensi alami 2 nodal, dan n adalah jumlah dari nodal; n tidak boleh melebihi 5 atau 6 agar persamaan diatas masih dalam ambang valid, seperti yang diperlihatkan pada Gambar di bawah ini;



Gambar 3. Rencana garis dari Frigate Centre of Extrem Floataion Aft (COFEA)



Gambar 4. Rencana garis dari Frigate Axe bow(AXE20)



Gambar 5. Rencana garis dari Enlarge Ship Concept (ESC40DV)

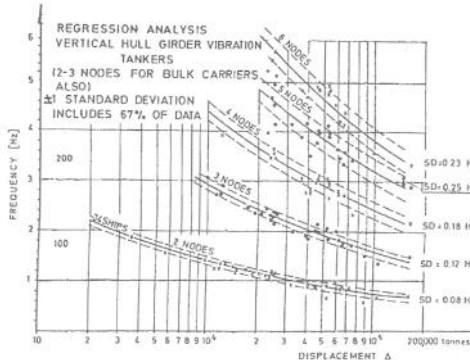
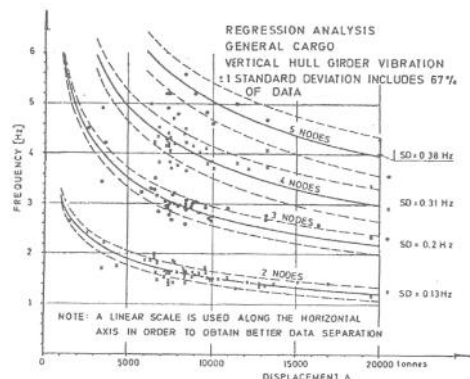
Tabel 1. Ukuran Utama Kapal Frigate[4]

No	Frigate Hull Types	L (m)	B(m)	T(m)	D(m)	(ton)
1	PHF	120	15.89	4.83	9.365	4675
2	COFEA	120	18.77	4.6	10.5	4241.5
3	AXES20	144	15.71	4.19	10.475	4633
4	ESC40DV	168	15.45	4.1	10.387	5243.9

Nilai dari frekuensi natural kapal frigate pada moda pertama dapat didekati dengan metode Kumai. Persamaan Kumai (1968) untuk 2 noda bending vertikal ditunjukkan pada persamaan (4) di bawah ini;

$$N_{2v} = 3.07.10^6 \sqrt{\frac{I_v}{\Delta_i L^3}} \text{ cpm} \quad (4)$$

Dimana  $I_v$  adalah moment inersia (m4), dan  $\Delta_i = \left(1.2 + \frac{1}{3} \cdot \frac{B}{T_m}\right) \Delta$ , dan  $\Delta$  adalah berat kapal



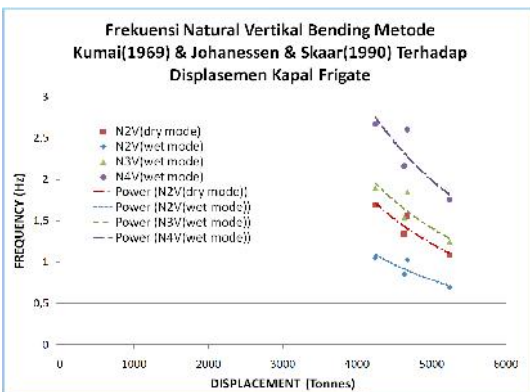
Gambar 6. Frekuensi Natural getaran vertikal badan kapal

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memverifikasi pemodelan elastis dinamis dari model numerik maka diperlukan penggunaan formula kumai sebagai pendekatan untuk menghitung 2 noda frekuensi natural vertikal bending dari kapal frigate yang dianalisa ini. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan (5) dan diaplikasikan melalui perangkat lunak lembar sebar (spread sheet) perhitungan moda ini diperluas hingga ke penggunaan 3 dan 4 noda menggunakan metoda Johanessen & Skaar, sebagai bahan acuan. Dalam melakukan perhitungan frekuensi natural ini, moment inersia tengah kapal (midship) frigate diasumsikan atau didekati sebagai balok euler berongga nilai perhitungan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8 sampai 11. sehingga nilai yang didapat adalah juga pendekatan, besaran moment inersia yang tepat nantinya akan diperiksa kembali saat pemodelan elemen hingga telah dilakukan. Pada Gambar 8 diperlihatkan pendekatan momen inersia dan modulus penampang frigate PHF kemudian Gambar 9 memperlihatkan pendekatan momen inersia dan modulus penampang frigate COFEA dan Gambar 10 adalah pendekatan momen inersia dan modulus penampang frigate AXES20 dan yang terakhir yaitu Gambar 11 merupakan pendekatan momen inersia dan modulus penampang frigate ESC40DV. Hasil perhitungan metoda Kumai dan Johanessen & Skaar diperlihatkan pada Tabel 2. dan grafik perhitungannya diperlihatkan pada Gambar 7.

Tabel 2. Pendekatan Frekuensi Natural Vertikal Bending Metode Kumai(1969) & Johanessen & Skaar(1990)

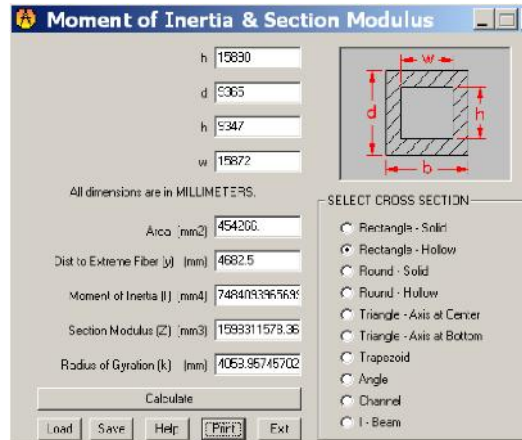
No	Frigate Hull Types	N2V(dry mode) Hz	N2V(wet mode) Hz	N3V(wet mode) Hz (3Nodes)	N4V(wet mode) Hz (4 Nodes)
1	PHF	1.557373939	1.027657715	1.845945324	2.600255043
2	COFEA	1.686925008	1.054298287	1.893798845	2.667662975
3	AXES20	1.337929011	0.854806187	1.535458219	2.16289341
4	ESC40DV	1.085454447	0.69261006	1.244111034	1.752492854



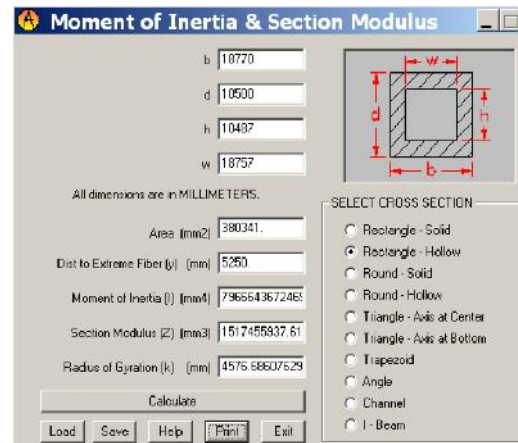
Gambar 7. Hasil pendekatan frekuensi natural getaran vertikal

badan kapal frigate dengan metode Kumai.

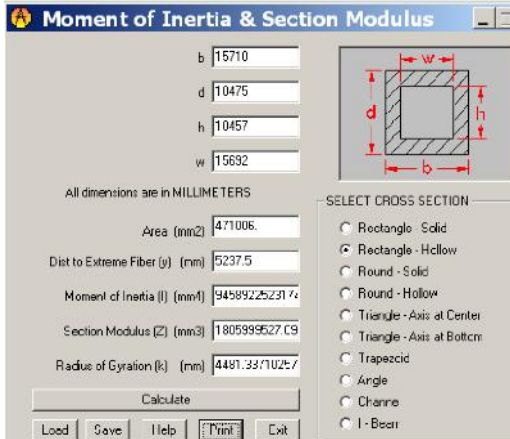
Dari Tabel 2 diatas terlihat bahwa frekuensi natural untuk moda pertama yang terendah terdapat pada kapal dengan type ESC40DV. Hal ini kemungkinan karena kapal tersebut mempunyai panjang badan yang lebih dari yang lain tetapi mempunyai bobot yang relatif sama dengan yang lain, sehingga mempunyai kekakuan aksial yang rendah dibanding dengan kapal – kapal frigate tipe lainnya.



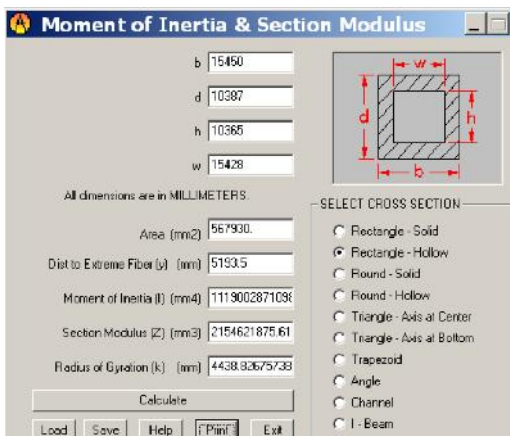
Gambar 8. Pendekatan Ekuivalen Moment Inertia dan Modulus Penampang Frigate PHF



Gambar 9. Pendekatan Ekuivalen Moment Inertia dan Modulus Penampang Frigate COFEA



Gambar 10. Pendekatan Ekuivalen Moment Inertia dan Modulus Penampang Frigate AXES20



Gambar 11. Pendekatan Ekuivalen Moment Inertia dan Modulus Penampang Frigate ESC40DV

## DAFTAR PUSTAKA

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

## KESIMPULAN

Berdasarkan grafik hasil pendekatan frekuensi natural dengan metode Kumai pada Gambar 7. diperlihatkan bahwa metode ini dapat diaplikasikan pada kapal dengan tipe frigate, yang mana kecenderungan kurva serupa dengan tipe kapal lain hasil penelitian Johannes & Skaar yang ditunjukkan pada Gambar 6.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih sebesar-besarnya kepada Kemenristek terkait dengan bantuan dana kegiatan riset melalui program Insinas tahun anggaran 2012.