

Kajian Numerik Ketebalan Lapisan Redaman Getaran Berbahan Semen untuk Dek Kapal Penumpang

Wibowo. H. Nugroho^{1*}, Nanang. J. H. Purnomo¹, Endah Suwarni²

¹Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim, BPPT, Kompleks ITS Sukolilo, Surabaya

²Balai Teknologi Hidrodinamika, BPPT, Kompleks ITS Sukolilo, Surabaya

ABSTRACT

Ship vibration problems today's increasingly complex and often occurs in addition to the strict requirements of ship classification agencies for allowable levels of vibration so that passengers and crew more comfortable and secure. One method for reducing the influence of ship structural vibration is to minimize the response of the vibration by using damper. This paper describes the effect of the thickness of the damping layer made from cement material on the deck plate due to the harmonic load excitation. As cement is a common damper application on the ship deck. A numerical modeling based on finite element analysis was applied in two-layer conditions, namely an overall and tiling coating. The results of this study indicate that the minimum thickness of the cement layer has an optimum damping for the overall coating is approximately 8 mm and as for tile coating is approximately 15 mm.

Keywords : ship vibration, harmonic response, vibration damper

*Corresponding author.

E-mail address: wibowo.harso@bppt.go.id,

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2017 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, All right reserved, This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Wibowo H. Nugroho, lulus Sarjana Teknik Perkapalan (Ir/1990) dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, Msc (1994) di bidang Engineering Mathematics, dari University of Newcastle, Newcastle Upon Tyne, The United Kingdom. Dan PhD (2002) di bidang Smart Structure / Mechanical Engineering, Monash University, Melbourne, Australia.

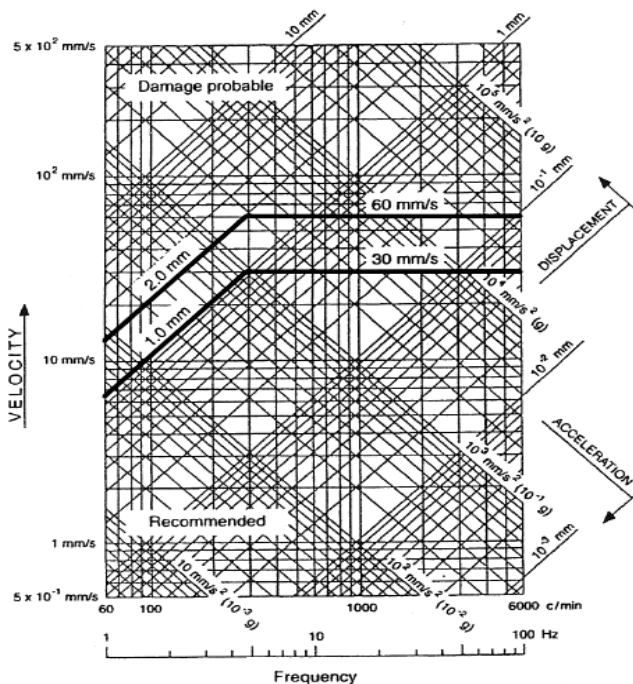
Saat ini bekerja sebagai Perekrayasa pada Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim, BPP Teknologi Surabaya. Penulis juga menjadi staf pengajar tidak tetap Teknik Mesin pada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. Bidang penelitian yang diminati adalah dinamika struktur dengan berbagai aplikasi kerekrayasaan seperti prediksi beban dinamis pada wahana permukaan dan bawah air, prediksi kerusakan struktur, getaran struktur kapal, serta desain buoy tsunami/seismik dan unit dasar laut.



Endah Suwarni, ST., MT, lulus D3 Politeknik Perkapalan Surabaya dengan Jurusan Teknik Bangunan Kapal tahun 1998. Lulus S1 Lintas Jalur tahun 2010 di Jurusan Sistem Teknik Perkapalan FTK ITS Surabaya, lulus program Pascasarjana S2 di Bidang Keahlian Hidrodinamika Kapal Program Studi Teknik Produksi dan Material Kelautan ITS Surabaya pada tahun 2014. Saat ini bekerja sebagai Perekrayasa Muda di Balai Teknologi Hidrodinamika BPPT.

1. PENDAHULUAN

Agar penumpang merasa nyaman saat berlayar maka tingkat getaran pada kapal seharusnya pada posisi dimana tingkat getaran cukup rendah sehingga tidak ada keluhan dari orang yang berada di atas kapal. Untuk mencapai tingkat kenyamanan tersebut, panduan yang diberikan oleh biro klasifikasi [3] seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 di bawah ini tentunya sangat diperlukan.



Gambar 1. Batas getaran untuk struktur lokal kapal [2].

Gambar 1. memperlihatkan batas getaran dari struktur lokal yang sering dipakai oleh industri kelautan (*marine industry*) dimana resiko dari keretakan kelelahan karena getaran diharuskan kecil. Garis tebal menunjukkan batas getaran untuk struktur local, dimana direkomendasikan lebih kecil dari batas bawah dan kemungkinan kerusakan lebih besar dari limit atas, dengan “daerah antara abu – abu”. Frekuensi di atas 5 Hz dimana batas getaran ditentukan dengan amplitudo kecepatan, dan di bawah frekuensi 5 Hz ditentukan dengan perpindahan (displacement). Masalah utama pada getaran struktur lokal biasanya terjadi di atas frekuensi 5 Hz. Batas – batas dari getaran ini dapat diterangkan sebagai berikut :

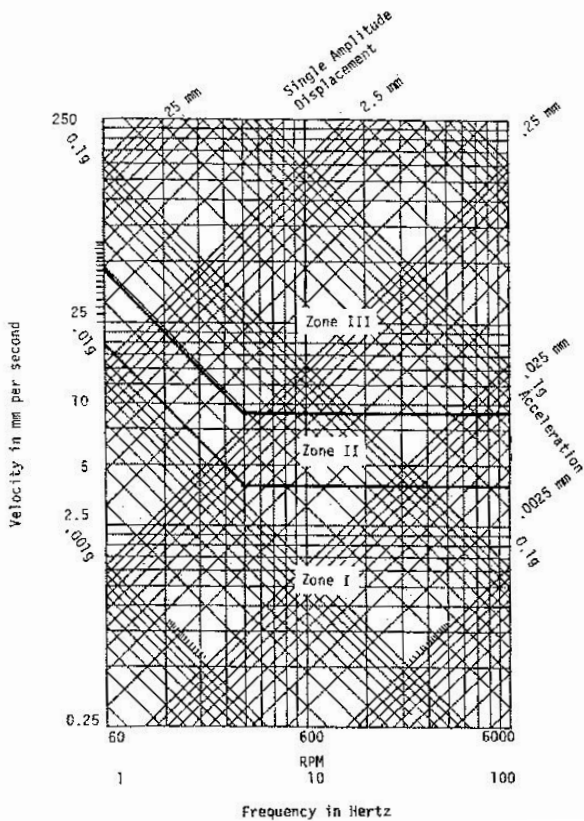
- Komponen frekuensi respon puncak dalam arah vertikal atau longitudinal, dari mulai 1 Hz sampai 5 Hz, perpindahan (displacement) yang diperbolehkan di bawah 1,0 mm, dan kemungkinan kerusakan struktur terjadi di atas 2.0 mm

- Komponen frekuensi respon puncak dalam arah vertikal atau longitudinal, dari mulai 5 Hz ke atas, kecepatan yang diperbolehkan di bawah 30 mm/detik, dan kemungkinan kerusakan struktur terjadi di atas 60 mm/detik.

Harus diingat bahwa batas getaran yang sederhana di atas mungkin tidak berlaku untuk semua jenis struktur dengan konfigurasi dan detail struktur yang berbeda. Pada kasus struktur yang tinggi dan / atau struktur tidak kaku seperti tiang – tiang kapal, sebagai contoh tingkat tegangan yang terjadi karena getaran biasanya kecil dan batas getaran 1 atau 2 mm mungkin terlalu berlebihan. Pada kasus yang lain untuk panel berpenegar sebagai contoh, batas getaran untuk 1 atau 2 mm mungkin tidak berlebihan. Oleh karena itu, penggunaan batas getaran dari struktur lokal tertentu dapat berubah tergantung dari spesifikasi teknis kapal yang telah disetujui oleh galangan kapal dan pemilik kapal

Untuk kenyamanan penumpang, klasifikasi dari [8] membagi tingkat getaran pada kapal kedalam tiga daerah (*zone*), daerah I dimana tingkat getaran cukup rendah dan tidak ada keluhan dari orang yang berada di atas kapal, kemudian daerah II dimana tingkat getaran dan suara sedikit terasa dan mulai ada keluhan dari beberapa orang sedangkan untuk daerah III dimana tingkat getaran beserta reaksi dari penumpang dan awak sangat terasa dan terdapat keluhan secara umum.

Panduan dari ketiga daerah getaran kapal tersebut diperlihatkan pada Gambar 2.



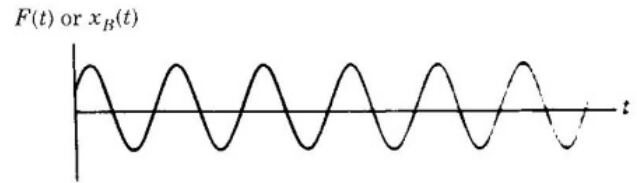
Gambar 2. Panduan untuk getaran kapal (amplitudo tunggal baik vertikal maupun horisontal [8])

Berbagai cara untuk mengurangi atau mengendalikan pengaruh getaran pada struktur kapal seperti mengurangi sumber getaran, melakukan isolasi terhadap sumber atau peralatan dan terakhir melakukan pengurangan terhadap respon dari getaran tersebut. Getaran yang berlebih melampaui standard yang diijinkan pada struktur badan kapal merupakan suatu permasalahan yang sering ditemui oleh para operator kapal dimana hal ini sangat mempengaruhi kehandalan konstruksi dan kenyamanan awak serta penumpang kapal. Secara umum getaran dapat mempercepat kelelahan struktur kapal, juga menyebabkan menyebabkan kerusakan atau tak berfungsi dengan baik peralatan mekanik dan listrik yang terdapat di atas kapal serta berkurangnya kenyamanan penumpang dan awak kapal. Pada paper ini dijelaskan pengaruh dari variasi ketebalan lapisan bahan peredam berupa semen terhadap respon harmonik plat dek kapal melalui sebuah studi numerik dengan pemodelan elemen hingga. Hal ini disebabkan bahan redaman berbasis semen merupakan bahan yang umum dipakai untuk meredam getaran di dek penumpang di kapal. Studi ini merupakan studi lanjutan dari [7] tentang bahan alternatif lapisan redaman dan [5] tentang koefisien redaman bahan lapisan. Secara garis besar penulisan ini dapat digunakan untuk memperkaya bidang keilmuan terapan getaran kapal.

1. GETARAN PAKSA BERPEREDAM (DAMPED FORCED VIBRATION)

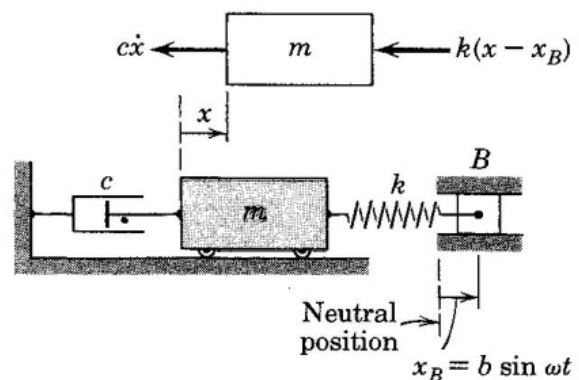
Pada bagian ini dibahas suatu sistem getaran yang terjadi

karena adanya gaya luar $F(t)$ yang terus menerus. Selain gaya luar yang langsung mengenai massa sistem, fungsi gaya ini bisa juga berupa pergerakan pondasi $x_B(t)$ pada mesin tanah maupun seismograph, suspensi mobil, yang mana secara mudah bisa dilakukan analisa pendahuluan menggunakan beban harmonis seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3:



Gambar 3. Fungsi harmonis [4]

Sehingga dalam studi ini getaran dari dek kapal dapat dimodelkan dimana gaya eksitasi bisa dianggap bekerja pada pondasinya (base excitation) dan diagram benda bebas karena getaran yang terjadi diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Getaran tereksitasi pada pondasinya [4]

Persamaan getaran pada gambar di atas dapat diturunkan berdasarkan hukum Newton sebagai berikut:

$$-k(x - x_B) - c\dot{x} = m\ddot{x} \quad (1)$$

jika $x_B = b \sin \omega t$, maka persamaan di atas dapat di tulis sebagai berikut :

$$\ddot{x} + 2\zeta \omega_n \dot{x} + \omega_n^2 x = \frac{k b \sin \omega t}{m} \quad (2)$$

Sehingga persamaan umum dari getaran tereksitasi berperedam adalah tertulis di bawah ini :

$$\ddot{x} + c\dot{x} + \omega_n^2 x = \frac{F_0 \sin \omega t}{m} \quad (3)$$

dimana $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ adalah frekuensi natural dari sistem

dan $\zeta = \frac{c}{2m\omega_n}$ adalah rasio redaman.

Penyelesaian persamaan differensial di atas adalah $X = X_c + X_p$, dimana X_c merupakan penyelesaian kondisi transient, yang berlangsung sesaat, sedangkan pada kondisi steady state yang diperlukan karena akan berlangsung terus, sehingga hal ini dapat ditulis :

$$X_p = X \sin(\omega t - \Phi) \quad (4)$$

Jika dimasukkan ke dalam persamaan (4) maka dihasilkan:

$$X = \frac{F_0/k}{\left\{ \left[1 - (\omega/\omega_n)^2 \right]^2 + \left[2\zeta \omega/\omega_n \right]^2 \right\}^{1/2}} \quad (5)$$

Dan

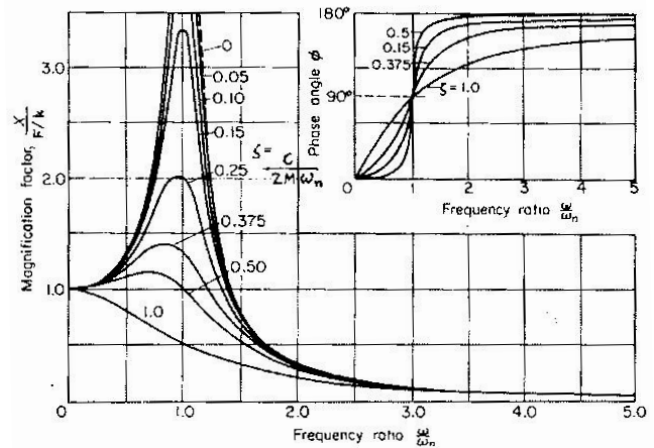
$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{2\zeta \omega/\omega_n}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \right] \quad (6)$$

Jika M adalah rasio amplitudo atau faktor penguat (Magnification factor) $M = X/(F_0/k)$ maka dapat dihasilkan rasio :

$$M = \frac{1}{\left\{ \left[1 - (\omega/\omega_n)^2 \right]^2 + \left[2\zeta \omega/\omega_n \right]^2 \right\}^{1/2}} \quad (7)$$

Angka M ini diperlihatkan pada Gambar 4. Pada gambar ini ditunjukkan bahwa :

- (1) Untuk getaran dengan 1(satu) derajat kebebasan yang mengalami suatu eksitasi harmonik, jika terjadi amplitudo yang berlebih maka untuk meredakannya diperlukan dengan memperbesar redaman atau mengatur frekuensi eksitasi jauh di luar frekuensi natural sistem. Selain itu penambahan redaman (*damping*) akan lebih efektif pada daerah sekitar frekuensi resonansi.
- (2) Gambar 4 juga menunjukkan, kecuali pada $\zeta = 0$, faktor magnifikasi sebenarnya tidak berpuncak (peak) pada perbandingan frekuensi ($\omega/\omega_n = 1$). Puncak tersebut dapat dihitung untuk setiap nilai ζ dengan menentukan nilai maksimum dari M pada persamaan (7).

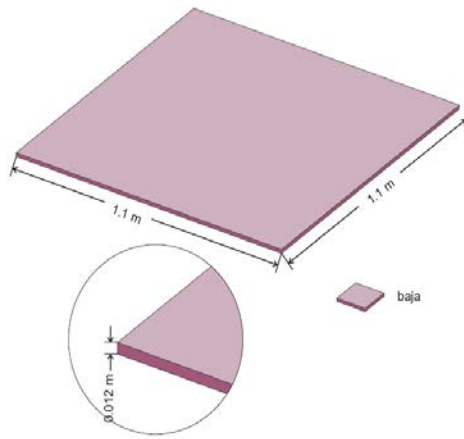


Gambar 5. Respon getaran untuk satu derajat kebebasan [8].

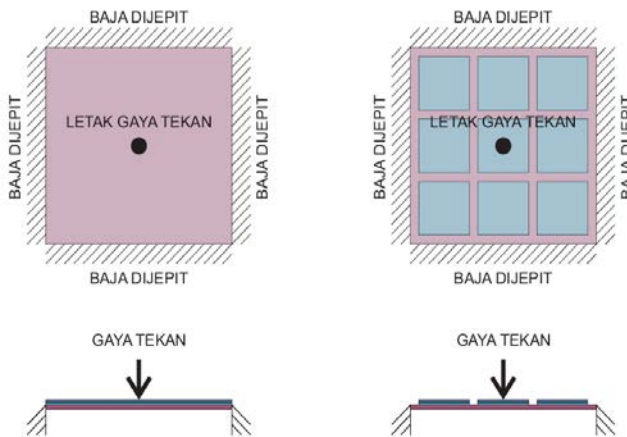
Pada Gambar 5 di atas juga menunjukkan sudut fasa yang berubah terhadap perbandingan frekuensi ($\omega/\omega_n = 1$) untuk berbagai nilai rasio redaman ζ . Dapat diperhatikan bahwa nilai sudut fasa Φ pada resonansi adalah $\pi/2$ untuk setiap nilai rasio redaman ζ . Untuk bahan redaman yang sama nilai rasio redaman ini dapat berubah karena adanya variasi ketebalan lapisan bahan redaman yang dipakai pada struktur seperti yang akan diulas pada paper ini.

2. PEMODELAN ELEMEN HINGGA GETARAN PELAT DEK KAPAL

Pada penelitian ini dek kapal dimodelkan dengan plat yang dijepit di semua sisinya (*fully clamped*), kemudian diberikan beban terpusat harmonis $F(t)$ yang merupakan $A \sin(\omega t)$, dimana A merupakan beban maksimal di dek kapal dengan asumsi menggunakan dengan perhitungan beban dari BKI [3]. Dari hasil perhitungan beban pada geladak cuaca pada kapal dengan panjang kira-kira 36 m diperoleh 608.2N, kemudian ω adalah $2\pi f$ merupakan frekuensi eksitasi beban, dengan range 20 - 200 Hz yang merupakan frekuensi kerja umum pada badan kapal. Untuk waktu eksitasi beban (t) diambil selama 60 detik. Pada pemodelan numerik ini digunakan plat baja dengan panjang, lebar dan tebal yaitu 1100 x 1100 x 12 (mm) seperti diperlihatkan pada Gambar 6. dimana ρ yaitu massa jenis baja sebesar 7850 kg/m³. Pengaturan beban pada plat dek diperlihatkan pada Gambar 7. Selanjutnya baja akan dilapisi semen dengan dua kondisi yaitu menyeluruh dan secara *tiling*, dimana koefisien redaman bahan ζ baja = 0,015 dan ζ semen = 0,04 [1].

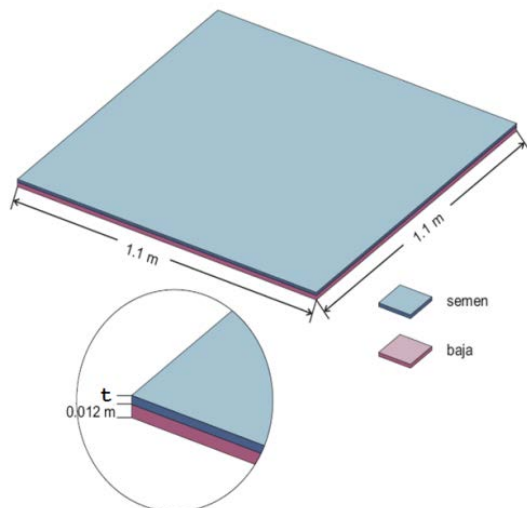


Gambar 6. Skema dimensi plat baja dek kapal

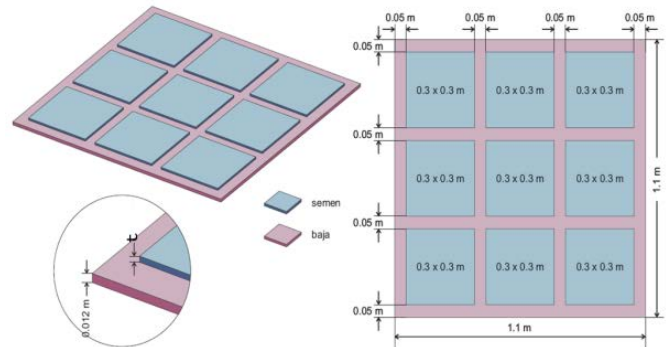


Gambar 7. Skema gaya terkonsentrasi yang bekerja pada dek kapal

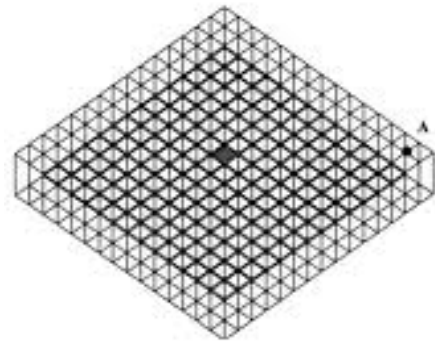
Dari Gambar 7. diatas terlihat bahwa beban maksimum dek diasumsikan terpusat di tengah plat dek. Pemilihan jenis bahan semen ini karena merupakan bahan yang murah, mudah didapat untuk dipakai di struktur kapal. Pemakaian lapisan redaman semen ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9. Pada Gambar 8. diperlihatkan pemakaian lapisan redaman semen secara menyeluruh plat. Metode *tiling* untuk lapisan semen diperlihatkan pada Gambar 9. Metode elemen hingga diaplikasikan untuk memodelkan kondisi pembebanan plat diatas. Seperti ditunjukkan pada Gambar 10, dimana plat dek kapal dan lapisannya didiskritisasi dengan elemen triangular.



Gambar 8. Skema dimensi plat baja dek kapal dan lapisan bahan semen dengan ketebalan (t) 8 – 50 mm



Gambar 9. Skema dimensi plat baja dek kapal dan lapisan bahan semen yang di 'tiling' dengan ketebalan (t) 8 – 50 mm



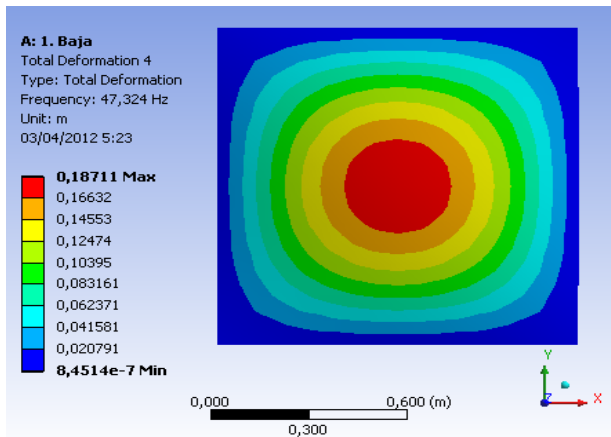
Gambar 10. 'Meshing' elemen hingga dari model plat dek kapal dan lapisan redamannya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

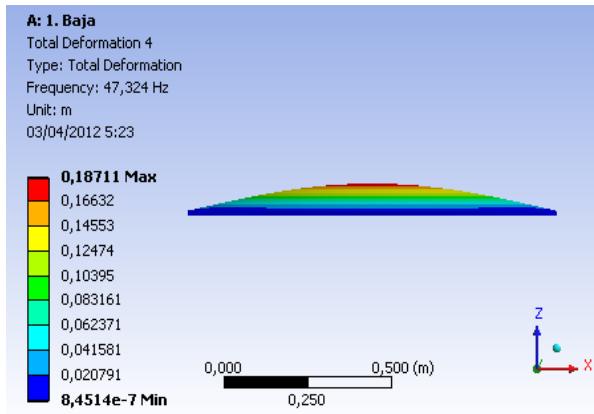
Seperti diketahui penambahan lapisan redaman pada plat dek kapal dapat merubah karakteristik sistem getarannya. Hal ini dapat menyebabkan fenomena pergeseran frekuensi natural karena sistem kekakuan yang berubah [6]. Penyelesaian model numerik dari plat dek kapal baik yang sebelum maupun sesudah dilapisi mempunyai 2 langkah penyelesaian. Langkah pertama adalah penyelesaian differensial homogen dimana berupa penentuan frekuensi natural (*mode shape*) seperti diperlihatkan pada Gambar 11 dan Gambar 12. Dan langkah kedua adalah penyelesaian respon harmonik terhadap eksitasi plat dek kapal diatas dimana rangkuman hasil penyelesaian ditunjukkan pada Gambar 14 dan Gambar 15.

Gambar 13 menunjukkan hasil dari pemodelan numerik frekuensi natural dari plat baja dek kapal dan lapisannya. Frekuensi yang diperoleh merupakan karakteristik dari frekuensi respon plat baja yang diperoleh dari model numerik. Dari hasil pemodelan numerik didapatkan bahwa nilai frekuensi natural plat baja berketebalan 12 mm tanpa peredam sebesar 47,324 Hz seperti terlihat pada gambar tersebut. Nilai ini dipakai sebagai acuan frekuensi respon harmonik setelah plat baja dilapisi peredam. Setelah itu nilai frekuensi sebesar 76,19 Hz dan 80,95 Hz berlaku pada baja berlapis semen berketebalan 8 mm secara tiling dan

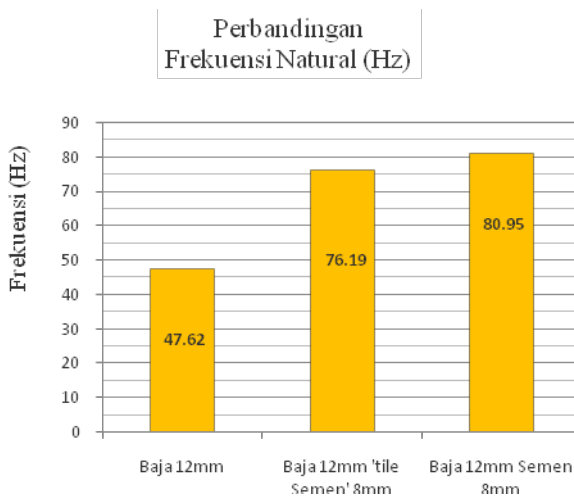
menyeluruh. Untuk lapisan semen dengan ketebalan lebih dari itu mempunyai frekuensi natural diatas 200 hz (dimana diluar frekuensi kerja beban struktur kapal sehingga tidak perlu ditampilkan pada Gambar 13).



Gambar 11. Hasil pemodelan numerik plat baja dek kapal (Mode shape – top view)



Gambar 12. Hasil pemodelan numerik plat baja dek kapal (Mode shape – side view)

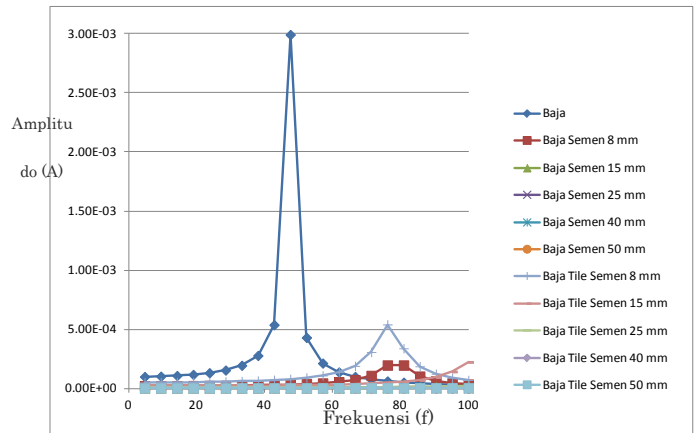


Gambar 13. Frekuensi natural plat baja dek kapal dengan berbagai jenis lapisan redaman.

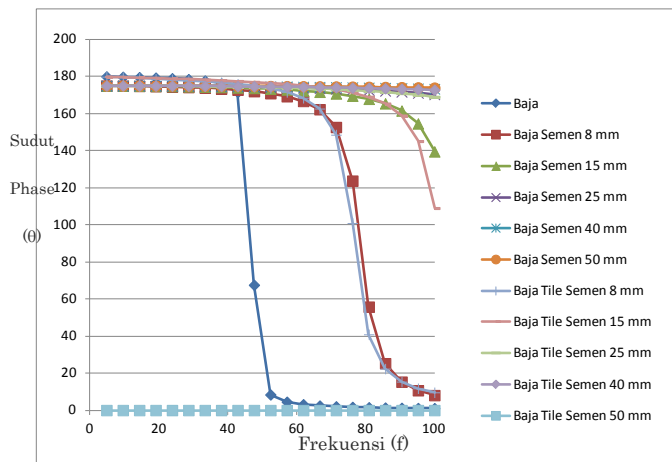
Nilai frekuensi respon dari plat dek kapal dengan

lapisan redaman berbahan semen seluruhnya lebih tinggi dari frekuensi respon harmonik plat baja tanpa peredam maupun lapisan jenis tiling. Hal ini disebabkan penggunaan lapisan semen menyeluruh membuat sistem menjadi lebih kaku daripada baja tanpa redaman maupun lapisan tiling sehingga frekuensi natural bergeser ke arah lebih tinggi.

Rangkuman respon harmonik amplitudo serta sudut fase dari pemodelan numerik ini diperlihatkan pada Gambar 14. dan Gambar 15. Dari Gambar 14 diperlihatkan bahwa nilai amplitudo yang besar pada plat dek kapal tanpa peredam bisa jauh lebih kecil bila plat dek dilapisi oleh semen baik dengan lapisan menyeluruh ataupun tiling. Akan tetapi metode lapisan menyeluruh hasil redamannya lebih baik daripada lapisan tiling. Hal ini ditunjukkan dengan nilai amplitudo yang terkecil untuk ketebalan lapisan 8 mm pada lapisan menyeluruh. Untuk ketebalan lapisan lebih besar daripada 15 mm kedua jenis lapisan tersebut menunjukkan hasil redaman yang baik. Sehingga untuk efektifitas dan kemudahan pelapisan, penggunaan bahan redaman menyeluruh lebih dianjurkan pemakaiannya. Gambar 15. menunjukkan sudut fase dari berbagai ketebalan lapisan semen sebagai redaman dimana perubahan sudut fase dari 0 ke $180^\circ \cdot \omega_n$ merupakan posisi frekuensi naturalnya. Terlihat dari gambar bahwa posisi frekuensi natural bergeser ke arah lebih tinggi sesuai dengan perubahan kekakuan yang lebih besar.



Gambar 14. Perbandingan amplitudo pada plat baja dengan berbagai macam redaman.



Gambar 15. Perbandingan sudut fasa dari masing-masing redaman.

4. KESIMPULAN

Sesuai dengan hasil pemodelan numerik pada penelitian ini, pemberian lapisan semen menyeluruh sebagai peredam getaran dek kapal sangat baik dibandingkan dengan sistem pelapisan model tiling. Penggunaan ketebalan lapisan menyeluruh semen lebih besar dari 8 mm diatas dek sangat dianjurkan karena respon harmonik untuk frekuensi kerja beban umum badan kapal 20 – 200 Hz yang dihasilkan adalah minimal. Walaupun demikian untuk melengkapi hasil penelitian ini perlu dilakukan investigasi eksperimen lanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih sebesar-besarnya kepada KEMENEGRISTEK atas bantuan dana penelitian Rancang Bangun Sistem Redaman Akustik Dan Getaran Struktur Plat Dek Untuk Kenyamanan Penumpang Kapal melalui insentif PKPP 2012.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adams, V. and Askenazi, A. (1999). *Building Better Products with Finite Element Analysis*, On Word Press, Santa Fe, N. M .,
- [2] American Bureau of Shipping, (2006), *Guidance Notes On Ship Vibration*.
- [3] Biro Klasifikasi Indonesia. (2009). Rules For The Classification And Construction Of Seagoing Steel Ships, *Volume I Rules For Hull Edition*.
- [4] Meriem, J.L. and Kraige, L.G. (1987). Vibration and Time Response, Engineering Mechanics Vol 2, *Dynamics*, Chap 8
- [5] Nugroho, W. H. dan Pitoyo. (2012). Penentuan Koefisien Redaman Getaran Bahan Pelapis Plat Dek Kapal, Wave, *Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, Volume 6, No 2, Desember
- [6] Nugroho, W. H. And Tjahyanti, P. H. (2009). A detection of the Development of Cracks in a Metallic Structure Using R – Curve Method, (A Comparison with the Shifting Frequency Method) *Jurnal Teknik Mesin*, ITS Vol.8 Nomor – 3,
- [7] Purnomo, N. J. dan Nugroho, W. H. (2013). Kajian Numerik Bahan Redaman Alternatif untuk Mengurangi Getaran pada Dek Kapal Penumpang, Wave, *Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, Volume 7, No 1, Juni.
- [8] Vorus, W.S. and Paulling, J. R. as editor (2010). Vibration, The Principles of Naval Architecture Series, The Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME).