

KAJIAN NUMERIK BAHAN REDAMAN ALTERNATIF UNTUK MENGURANGI GETARAN PADA DEK KAPAL PENUMPANG

Numerical Study of Alternative Damping Materials to Reduce Vibration of Passanger Ship Deck

Nanang. J. H. Purnomo dan Wibowo. H. Nugroho

UPT Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika, BPPT-Surabaya

Email : nanangjokohp@yahoo.co.id

Diterima: 5 Juni 2012; Direvisi: 12 Juni 2012; Disetujui: 25 Juni 2012

Abstrak

Semakin kompleksnya problem getaran kapal saat ini dan ketatnya persyaratan tingkat getaran yang diijinkan sesuai rules klasifikasi kapal, maka perlu dilakukan metode antisipasinya agar penumpang dan awak kapal semakin nyaman dan aman dalam pelayaran. Salah satu metode untuk mengurangi problem getaran adalah melakukan pengurangan terhadap respon dari getaran struktur dengan menggunakan redaman (damper). Paper ini menjelaskan pengaruh lapisan bahan redaman alternatif pada plat dek kapal terhadap beban eksitasi harmonik, melalui pemodelan numerik dengan metode elemen hingga. Lapisan bahan redaman yang dipakai berupa semen dan karet serta kombinasi keduanya. Pemodelan numerik redaman metode 'tiling' pada plat dek kapal juga dilakukan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa untuk ketebalan lapisan yang sama pada penggunaan lapisan berbahan semen di keseluruhan plat dek kapal mempunyai nilai respon harmonik yang terkecil terhadap getaran dek.

Kata kunci : getaran kapal, respon harmonik , lapisan peredam

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 described the influence of damping material layer on the deck plate of the harmonic excitation load. Layer damping material used in the form of cement and rubber as well as a combination of both. Use the method of 'tiling' on the deck plate lining is also conducted. The results of numerical modeling using finite element method shows that for the same thickness of the coating layer the use of cement to the overall deck plate has the minimum value of vibration response.

Keywords : ship vibration, harmonic response, vibration damper

PENDAHULUAN

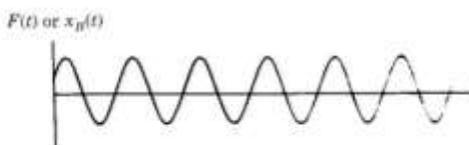
Getaran yang berlebih melampaui standard yang

dijinkan pada struktur badan kapal merupakan suatu permasalahan yang sering ditemui oleh para operator

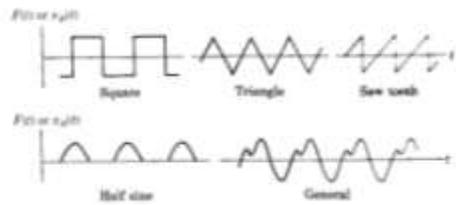
kapal dimana hal ini sangat mempengaruhi kehandalan konstruksi dan kenyamanan awak serta penumpang kapal. Secara umum getaran dapat mempercepat kelelahan struktur kapal, juga menyebabkan menyebabkan kerusakan atau tak berfungsi dengan baik peralatan mekanik dan listrik yang terdapat di atas kapal serta berkurangnya kenyamanan penumpang dan awak kapal. Seperti diketahui tingkat getaran dan suara dibagi dalam tiga daerah (Zone), daerah I dimana tingkat getaran dan suara 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 dan suara beserta reaksi dari penumpang dan awak sangat terasa dan terdapat keluhan secara umum. Berbagai cara untuk mengurangi atau mengendalikan pengaruh getaran dan suara ini pada struktur kapal seperti mengurangi sumber getaran atau suara, melakukan isolasi terhadap sumber atau peralatan dan terakhir melakukan pengurangan terhadap respon dari getaran dan suara tersebut. Pada paper ini dijelaskan pengaruh dari berbagai lapisan bahan peredam berupa semen dan karet terhadap respon harmonik plat dek kapal melalui sebuah studi numerik dengan pemodelan elemen hingga. Secara garis besar penulisan ini dapat digunakan untuk memperkaya bidang keilmuan getaran kapal.

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 system, fungsi gaya ini bisa juga berupa pergerakan pondasi $X_B(t)$ pada mesin ataupun tanah seperti pada peristiwa gempa, macam – macam bentuk fungsi dari eksitasi ini diperlihatkan pada Gambar 1 s/d Gambar 3 (Meriem et al, 1987) :



Gambar 1. Fungsi harmonis



Gambar 2. Fungsi periodik yang non – harmonis



Gambar 3. Fungsi non – periodik

Secara umum sistem getaran tereksitasi harmonis dimana diperlihatkan pada Gambar 4 mempunyai persamaan:

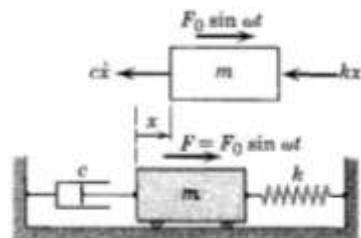
$$-kx - c\dot{x} + F_0 \sin \omega t = m\ddot{x} \tag{1}$$

dengan melakukan sedikit pengaturan maka didapat:

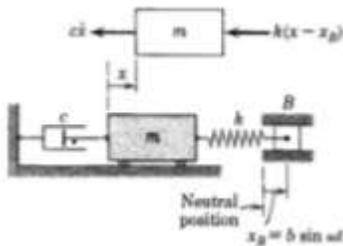
$$\ddot{x} + 2\zeta \omega_n \dot{x} + \omega_n^2 x = \frac{F_0 \sin \omega t}{m} \tag{2}$$

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

sistem dan $\zeta = \frac{c}{2m\omega_n}$ merupakan faktor redaman kental atau rasio redaman (Nugroho et al, 2012). Persamaan ini di atas berlaku jika gaya eksitasi bekerja langsung pada massa benda, pada kasus lain bisa juga gaya eksitasi terjadi pondasinya (base excitation) seperti misalnya pada seismograph, suspensi mobil, struktur yang terkena gempa ataupun getaran dari dek kapal. Untuk hal ini sistem getarannya diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 4.. Getaran tereksitasi pada massanya



Gambar 5. Getaran tereksitasi pada pondasinya

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

$$-k(x-x_B) - c\dot{x} = m\ddot{x} \quad (3)$$

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

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2 x = \frac{k b \sin \omega t}{m} \quad (4)$$

Jika diperhatikan maka persamaan (2) dan (4) adalah sejenis yang mana (F_0) diganti oleh (kb) pada kondisi eksitasi pondasi. Sehingga persamaan umum dari getaran tereksitasi berperedam adalah tertulis di bawah ini :

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2 x = \frac{F_0 \sin \omega t}{m} \quad (5)$$

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

$$X_p = X \sin(\omega t - \Phi) \quad (6)$$

Jika dimasukkan ke dalam persamaan (5) maka dihasilkan:

$$X \left[\omega_n^2 - \omega^2 \cos \Phi - 2\zeta\omega_n\omega \sin \Phi \right] \sin(\omega t - \Phi) = \frac{F_0}{m} \sin \omega t \quad (7)$$

Dan

$$\left[\begin{matrix} 2\zeta\omega_n\omega \sin \Phi \\ \omega_n^2 - \omega^2 \cos \Phi \end{matrix} \right] \sin(\omega t - \Phi) = \frac{F_0}{m} \sin \omega t \quad (8)$$

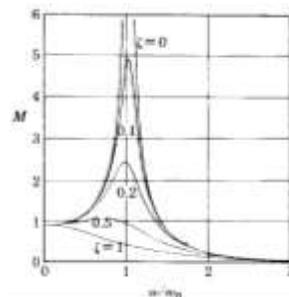
Jika M adalah rasio amplitudo atau faktor penguat

(Magnification factor) $M = \frac{X}{(F_0/k)}$ maka dapat dihasilkan rasio :

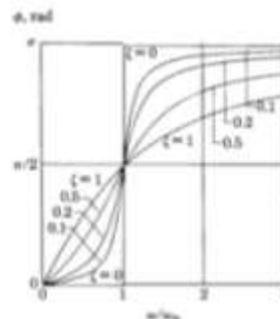
$$M = \frac{1}{\sqrt{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + [2\zeta\omega/\omega_n]^2}} \quad (9)$$

Angka M ini diperlihatkan pada Gambar 6. 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 6 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 (9).



Gambar 6. Faktor pengali - fungsi dari rasio frekuensi eksitasi terhadap natural. (Meriem et al,1987)

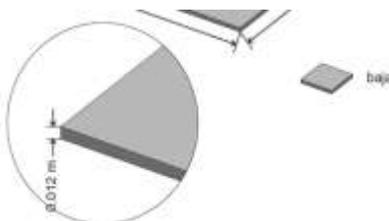


Gambar 7. Sudut fasa terhadap rasio frekuensi eksitasi terhadap frekuensi natural. (Meriem et al,1987)

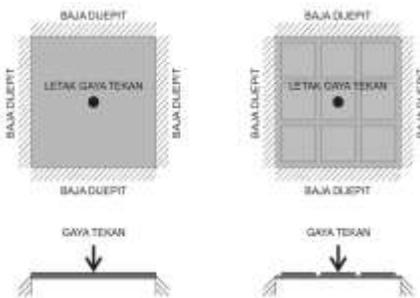
Gambar 7 menunjukkan sudut fasa yang berubah terhadap perbandingan frekuensi ($\omega/\omega_n = 1$) untuk berbagai nilai rasio redaman ζ . Dapat diperhatikan bahwa nilai sudut fasa Φ pada resonansi adalah $\pi/2$ untuk setiap nilai rasio redaman ζ .

PEMODELAN ELEMEN HINGGA GETARAN PELAT DEK KAPAL

Plat 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 (BKI, 2009). 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 8 dimana ρ yaitu massa jenis baja sebesar 7850 kg/m³, koefisien redaman bahan diperoleh dari Adams V (Adam et al, 1999). Pengaturan beban pada plat dek diperlihatkan pada Gambar 9.

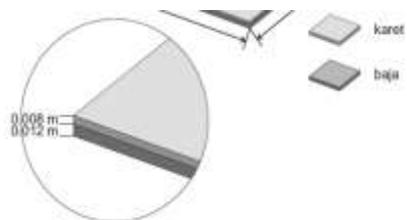


Gambar 8. Skema dimensi plat baja dek kapal

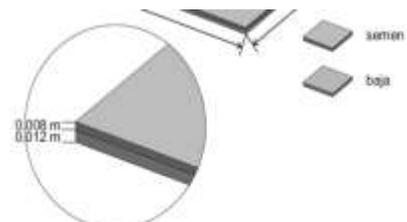


Gambar 9. Skema gaya terkonsentrasi yang bekerja pada dek kapal

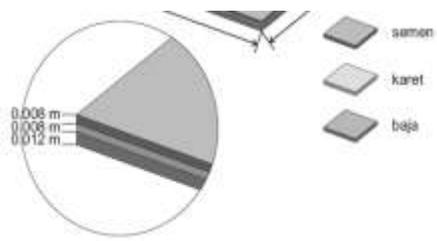
Dari gambar ini terlihat bahwa sebelah kiri dalam gambar tersebut untuk pengaturan pelapisan dilakukan pada seluruh permukaan baja sedangkan sebelah kanannya adalah jika pelapisan dilakukan dalam bentuk *tiling*. Beban maksimum dek diasumsikan terpusat di tengah plat dek. Pada penelitian ini plat akan dilapisi oleh 2 jenis bahan yaitu semen dan karet. Pemilihan kedua jenis bahan ini karena merupakan bahan yang umum dipakai di struktur kapal. Untuk lapisan redaman dengan karet ditunjukkan pada Gambar 10. Pemakaian lapisan redaman semen ditunjukkan pada Gambar 11. Pada Gambar 12. diperlihatkan pemakaian lapisan redaman kombinasi karet dan semen secara menyeluruh plat. Selain itu metode *tiling* juga digunakan pada penelitian ini. Metode *tiling* untuk lapisan semen diperlihatkan pada Gambar 13. Metode *tiling* untuk lapisan karet diperlihatkan pada Gambar 14. Metode *tiling* untuk kombinasi lapisan karet dan semen diperlihatkan pada Gambar 15.



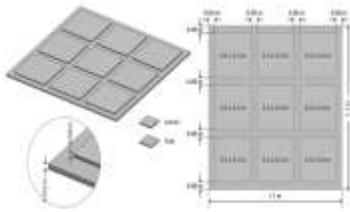
Gambar 10. Skema dimensi plat baja dek kapal dan lapisan bahan karet



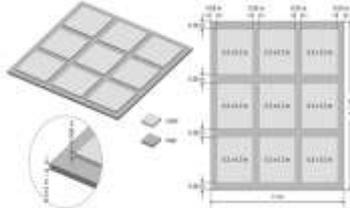
Gambar 11. Skema dimensi plat baja dek kapal dan lapisan bahan semen



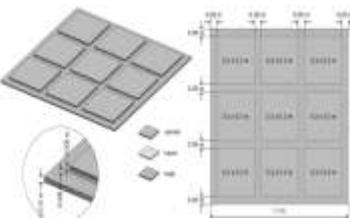
Gambar 12. Skema dimensi plat baja dek kapal dan lapisan bahan semen dan karet



Gambar 13. Skema dimensi plat baja dek kapal dan lapisan bahan semen yang di 'tiling'

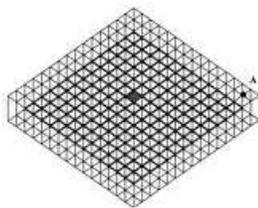


Gambar 14. Skema dimensi plat baja dek kapal dan lapisan bahan karet yang di 'tiling'



Gambar 15. Skema dimensi plat baja dek kapal dan lapisan bahan semen dan karet yang di 'tiling'

Metode elemen hingga diaplikasikan untuk memodelkan kondisi pembebanan plat diatas. Seperti ditunjukkan pada Gambar 16, dimana plat dek kapal didiskritisasi dengan elemen triangular.



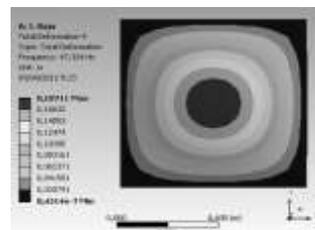
Gambar 16. 'Meshing' elemen hingga dari model plat dek kapal

HASIL DAN PEMBAHASAN

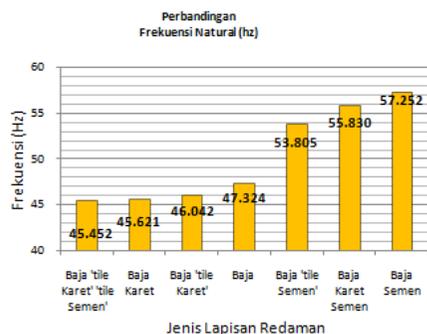
Seperti diketahui penambahan lapisan redaman pada plat dek kapal dapat merubah karakteristik sistem getarannya. Hal ini dapat menyebabkan fenomena pergeseran frekuensi natural karena sistem kekakuan yang berubah (Nugroho et al, 2009). Penyelesaian

model numerik dari plat dek kapal baik yang sebelum maupun sesudah dilapisi mempunyai 2 penyelesaian. Pertama adalah penyelesaian diferensial homogen dimana berupa penentuan frekuensi natural (*mode shape*) seperti diperlihatkan pada Gambar 17. Dan kedua adalah penyelesaian respon harmonik terhadap eksitasi plat dek kapal diatas dimana rangkuman hasil penyelesaian ditunjukkan pada Gambar 19 dan Gambar 20.

Gambar 18 menunjukkan hasil dari pemodelan numerik frekuensi natural dari plat baja dek kapal. Frekuensi yang diperoleh merupakan karakteristik dari frekuensi respon plat baja yang terukur. Dari hasil pemodelan numerik didapatkan bahwa nilai frekuensi natural plat baja tanpa peredam sebesar 47,324 hz seperti terlihat pada Gambar 18. Nilai ini dipakai sebagai acuan frekuensi respon harmonik setelah plat baja dilapisi peredam. Frekuensi respon harmonik terendah didapatkan pada plat baja dek kapal dengan peredam lapisan bahan karet yang di *'tiling'*, dan semen yang di *'tiling'* yaitu sebesar 45,452 hz seperti diperlihatkan pada Gambar 18. Frekuensi respon harmonik tertinggi didapatkan pada plat baja dek kapal dengan peredam lapisan bahan semen yaitu sebesar 57,252 hz seperti diperlihatkan pada Gambar 18.



Gambar 17. Hasil pemodelan numerik plat baja dek kapal (*Mode shape*)

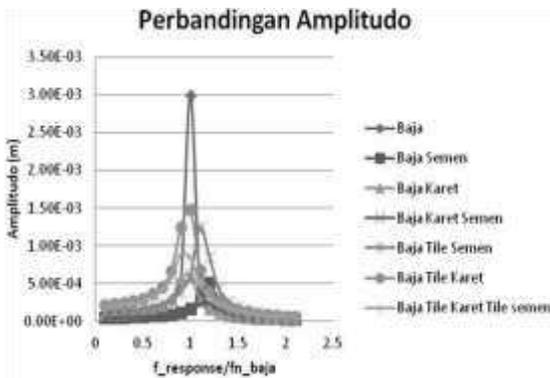


Gambar 18. Frekuensi natural plat baja dek kapal dengan berbagai jenis lapisan redaman.

Nilai frekuensi respon dari plat dek kapal dengan kombinasi lapisan redaman berbahan karet seluruhnya *lebih rendah* dari frekuensi respon harmonik plat baja tanpa peredam. Sedangkan harga frekuensi respon harmonik dari plat dek kapal dengan kombinasi peredam berbahan semen seluruhnya *lebih tinggi* dari frekuensi respon plat baja tanpa peredam.

Hal ini disebabkan penggunaan lapisan semen membuat sistem menjadi lebih kaku sehingga frekuensi natural bergeser ke arah lebih tinggi. Sebaliknya penggunaan lapisan karet membuat sistem lebih lentur sehingga frekuensi natural menjadi lebih rendah seperti diperlihatkan pada Gambar 18.

Rangkuman respon harmonik amplitudo serta sudut fase dari pemodelan numerik ini diperlihatkan pada Gambar 19 dan Gambar 20.



Gambar 19. Perbandingan amplitudo pada plat baja dengan berbagai macam redaman.



Gambar 20. Perbandingan sudut fasa dari masing-masing redaman.

Dari Gambar 19 diperlihatkan bahwa nilai amplitudo terbesar terdapat pada plat dek kapal tanpa peredam. Sedangkan nilai amplitudo terendah terdapat pada plat dek kapal dengan peredam lapisan semen. Gambar 20 menunjukkan sudut fase dari berbagai jenis lapisan redaman tersebut dimana sudut fase $0-\pi$ merupakan posisi frekuensi naturalnya.

KESIMPULAN

Sesuai dengan hasil pemodelan numerik pada penelitian ini, pemberian lapisan semen sebagai peredam getaran dek kapal lebih baik dibandingkan dengan material karet maupun kombinasi kedua bahan tersebut, karena respon harmonik yang dihasilkan adalah minimum. Walaupun demikian, untuk melengkapi hasil penelitian ini perlu dilakukan investigasi eksperimen lanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

Adams, V. and Askenazi, A. (1999). *Building Better Products with Finite Element Analysis*, On Word Press, Santa Fe, N. M .,
 Biro Klasifikasi Indonesia. (2009). Rules For The Classification And Construction Of Seagoing Steel Ships, *Volume 1 Rules For Hull Edition*.
 Meriem, J.L. and Kraige, L.G. (1987). Vibration and Time Response, *Engineering Mechanics Vol 2, Dynamics*, Chap 8
 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
 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,