

OPTIMASI KETEBALAN INNER BOTTOM UNTUK MENINGKATKAN KEAMANAN OPERASIONAL KAPAL FIBER REINFORCED PLASTIC

Debby Raynold Lekatompessy*

Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

Helly S. Lainsamputty

Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

Sonja T. A. Lekatompessy

Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

*E-mail korespondensi: debby.lekatompessy@lecturer.unpatti.ac.id

ABSTRAK

Getaran yang terjadi pada kamar mesin KM Cantika 88 melebihi standar yang diperbolehkan yaitu $0,05 \text{ mm} > 0,02 \text{ mm}$. Pada lokasi inner bottom mencapai $0,157 \text{ mm}$. Getaran pada Inner Bottom kapal sangat berpengaruh terhadap kerusakan fisik struktur konstruksi serta pengaruh tingkat kenyamanan dalam operasional selama di kapal. Sistem penopang yang ada perlu dioptimalkan, ketebalan inner bottom ditambahkan agar kekakuan struktur meningkat. Ketebalan optimal diperoleh dengan menggunakan simulasi dengan nilai amplitudo menjadi parameter penentu ketebalan inner bottom yang efektif dalam mereduksi getaran yang terjadi pada sistem penopang. Dari hasil penelitian ditemukan bahwa getaran yang terjadi akibat adanya aktifitas pada ruang mesin sangatlah besar dan melebihi batas izin Barkan untuk pondasi mesin yaitu $> 0,02 \text{ mm}$. Berdasarkan hasil penelitian getaran local pada inner bottom kapal ini getaran yang terjadi lebih besar dari getaran yang terjadi pada pondasi yaitu sebesar $1,57 \times 10^{-1} \text{ mm}$ namun setelah dilakukan penambahan ketebalan dengan menggunakan simulasi didapatkan $1,82 \times 10^{-2} \text{ mm}$. Ketebalan awal 8 mm dan pada ketebalan 12 mm getaran yang berlebih sudah dapat diatasi dengan bukti nilai amplitudo masuk dalam batas amplitudo yang diijinkan.

Kata kunci: Amplitudo, reduksi getaran, pondasi mesin, dimensi, frekuensi natural.

ABSTRACT

The vibrations that occurred in the engine room of KM Cantika 88 exceeded the permitted standard of $0.05 \text{ mm} > 0.02 \text{ mm}$. At the inner bottom location it reached 0.157 mm . Vibrations in the ship's inner bottom greatly affect the physical damage to the construction structure and the level of comfort in operations while on board. The existing support system needs to be optimized, the thickness of the inner bottom is added to increase the structural rigidity. The optimal thickness was obtained using a simulation where the amplitude value is a determining parameter for the thickness of the inner bottom that is effective in reducing vibrations that occur in the support system. From the results of the study, it was found that the vibrations that occurred due to activities in the engine room were very large and exceeded the Barkan permit limit for engine foundations, which was $> 0.02 \text{ mm}$. Based on the results of the local vibration research on the inner bottom of this ship, the vibration that occurs is greater than the vibration that occurs in the foundation, which is $1.57 \times 10^{-1} \text{ mm}$, but after adding thickness using simulation, it is obtained $1.82 \times 10^{-2} \text{ mm}$. The initial thickness is 8 mm and at a thickness of 12 mm , excessive vibration can be overcome with evidence that the amplitude value is within the permitted amplitude limit.

Keywords: *amplitude, vibration reduction, machine foundation, dimensions, natural frequency.*

1. PENDAHULUAN

Getaran merupakan respon dari sebuah sistem mekanik baik yang diakibatkan oleh gaya eksitasi yang diberikan maupun perubahan kondisi operasi fungsi waktu (Suhardjono, 2004). Beberapa sumber getaran dominan di kapal antara lain Gelombang laut, mesin induk, baling-baling dan mesin-mesin geladak (Imron, 2014). Getaran adalah sebuah hal yang harus dihindari atau dikurangi, khususnya pada sebuah konstruksi kapal karena getaran dapat menimbulkan kerusakan fisik sebuah struktur kapal. Getaran kapal dapat diklarifikasikan menjadi getaran global dan getaran lokal. Getaran global kerap kali terjadi pada kapal yang sedang beroperasi akibat adanya resonansi global. Resonansi global disebabkan oleh getaran eksitasi yang memiliki nilai frekuensi yang sama dengan frekuensi naturalnya (Taury & Zakki, 2018).

Penelitian ini membahas getaran lokal pada kapal express cantika 88 yaitu getaran yang terjadi pada inner bottom kapal akibat kerja mesin induk. Kapal penumpang express cantika 88 menggunakan 3 motor induk dalam pengoperasiannya. Ketika dilakukan pengukuran getaran yaitu menggunakan vibrometer di kamar mesin lebih tepatnya di daerah pondasi dihasilkan amplitudo sebesar 0,05 mm hasil ini melebihi batas izin Barkan yaitu 0,02 mm. Berdasarkan hasil penelitian getaran lokal pada inner bottom kapal ini, getaran yang terjadi lebih besar dari getaran yang terjadi pada pondasi yaitu sebesar $1,57 \times 10^{-1}$ mm (Lekatompessy, 2023).

Getaran pada inner bottom kapal sangat berpengaruh terhadap kerusakan fisik struktur konstruksi serta pengaruh tingkat kenyamanan dalam operasional selama di kapal. Untuk menganalisa getaran yang timbul akibat adanya pengaruh frekuensi eksitasi terhadap frekuensi natural yang terjadi maka harus ditinjau gaya dinamis yang bekerja. Tingkat getaran yang terjadi di kapal berubah sesuai dengan kondisi kapal. Untuk itu perlu dilakukan pengecekan, apakah getaran pada kapal tersebut sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

a. Getaran mesin, Rasio Frekuensi, dan Rasio Transmisibilitas

Ketidak-seimbangan pada mesin yang berputar merupakan sumber eksitasi getaran yang biasa dijumpai. Sistem pegas massa yang dibatasi hanya untuk bergerak dalam arah vertikal dan dirangsang oleh mesin yang berputar.

Rasio frekuensi berfungsi untuk mengetahui daerah yang mengalami resonansi. Resonansi adalah faktor utama yang dihindari dari suatu system (Thomson, 1996).

$$\omega/\omega_n \neq 1 \quad (1)$$

Koefisien redaman kritis (c_{cr}) Untuk faktor redaman atau rasio redaman (ζ) didapat dari perbandingan nilai koefisien redaman (c) dan koefisien redaman kritis (c_{cr}) yang diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$c_{cr} = 2m \cdot \omega_n \quad (2)$$

Jika sebuah mesin diletakkan pada sebuah pondasi, maka getaran mesin akan berkurang, tetapi getaran yang diteruskan ke pondasi akan bertambah besar. Hal ini akan menimbulkan bahaya yang cukup besar dalam jangka waktu yang panjang. Selain itu dikenal pula istilah *transmissibilitas*, yang didefinisikan sebagai perbandingan gaya yang ditransmisikan ke pondasi terhadap gaya getar yang dihasilkan oleh mesinnya sendiri. Dari teori getaran, *transmissibilitas* dinyatakan dengan persamaan (Inman & Singh, 2014):

$$TR = \frac{\sqrt{1 + (2\zeta \frac{\omega}{\omega_n})^2}}{\sqrt{[1 - (\frac{\omega}{\omega_n})^2]^2 + (2\zeta \frac{\omega}{\omega_n})^2}} \quad (3)$$

dengan:

ω/ω_n = rasio frekuensi

ζ = faktor damping

Persamaan (3) dipakai jika harga $\omega/\omega_n > \sqrt{2}$ dengan nilai $TR < 1$ Dari pernyataan ini diketahui bahwa dalam kondisi yang berlawanan maka sistem tidak memerlukan isolasi getaran.

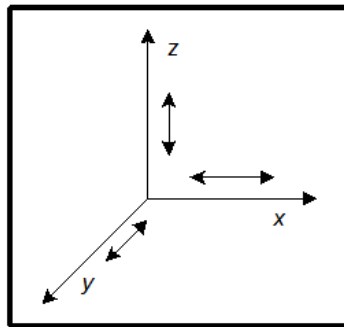
Jika faktor damping sangat kecil sehingga dapat diabaikan, maka persamaan dapat menjadi:

$$TR = \left| \frac{1}{r^2 - 1} \right| \quad (4)$$

Gaya-gaya penggetar yang ditimbulkan oleh mesin-mesin sering kali tak dapat dihindari; namun pengaruhnya pada sistem dinamik dapat banyak dikurangi oleh pegas yang dirancang dengan tepat, yang dikenal sebagai isolator (Thomson, 1996).

b. Gaya Eksitasi

Gaya eksitasi yang bekerja adalah gaya eksitasi yang disebabkan oleh mesin diesel. Adapun getaran ditinjau dalam arah vertikal (sumbu Z) dan horisontal (sumbu X dan Y) seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Arah Getaran Mesin

c. Amplitudo pada Pondasi

Besar nilai amplitudo yang diijinkan, dari hasil observasi Barkan (Srinivasalu & Vaidyanathan, 1976) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Amplitudo yang diijinkan (Observasi Barkan)

Type	Permissible Amplitudo (mm)
Low speed machinery (500 rpm)	0,02 – 0,025
Hammer Fondations	0,1 – 0,12
High Speed machinery	
a. 3000 rpm	
- Vertical vibrations	0,002 – 0,003
- Horizontal vibrations	0,004 – 0,005
b. 1500 rpm	
- Vertical vibrations	0,004 – 0,006
Horizontal vibrations	0,007 – 0,009

d. Material Komposit

Material komposit memiliki sifat mekanik yang lebih baik dari pada logam, memiliki kekuatan bisa diatur yang tinggi (*tailorability*), memiliki kekuatan lelah (*fatigue*) yang baik, memiliki kekuatan jenis (*strength/weight*) dan kekakuan jenis (*Modulus Young/density*) yang lebih tinggi daripada logam, tahan korosi, akibat pembebanan dan korosi (Napitupulu et al., 2018). Komposit adalah bahan hibrida yang terbuat dari resin polimer diperkuat dengan serat dengan menggabungkan sifat-sifat mekanik dan fisik (Rajak et al., 2019).

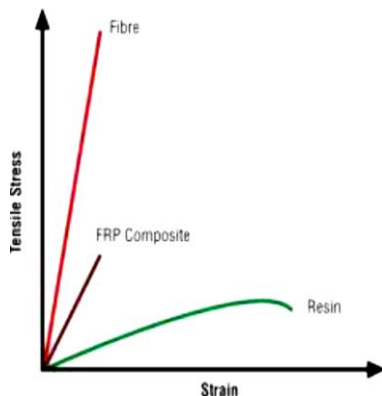
e. Modulus Elastisitas Material FRP

Modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan suatu bahan. Dalam hukum Hooke dinyatakan bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan,

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (5)$$

dengan:

- E = Modulus Elastisitas bahan dengan satuan (N/m^2)
 σ = Tegangan (Stress) Dengan satuan (N/m^2)
 ε = Regangan (Strain)



Gambar 2. Modulus Elastisitas

2. BAHAN DAN METODE

a. Model Penelitian

Untuk mengetahui apakah ada perubahan atau tidak pada suatu keadaan yang di kontrol secara ketat maka kita memerlukan perlakuan (*treatment*) pada kondisi tersebut dan hal inilah yang dilakukan pada penelitian eksperimen. Sehingga penelitian eksperimen dapat dikatakan sebagai metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan.

Penelitian ini menggunakan simulasi untuk mencari pengaruh perlakuan penambahan ketebalan *inner bottom* yang mampu menahan getaran mesin induk, sehingga tidak memberikan efek negatif ke struktur lain.

Dengan menggunakan simulasi dibuat ketebalan *inner bottom* sesuai kondisi awal di lapangan yaitu 8 mm dan dua ketebalan lainnya yaitu 10 mm dan 12 mm. Amplitudo menjadi parameter penentu dalam menentukan ketebalan *inner bottom* yang optimal.

b. Pondasi Mesin KM Express Cantika 88

Gambar 3 menunjukkan pondasi mesin KM Express Cantika 88. Kapal ini menggunakan 3 mesin penggerak dan material kapal adalah FRP.



Gambar 3. Pondasi Kapal FRP Cantika 88

c. Data Umum KM Express Cantika 88

- Data umum KM Express Cantika 88

Nama Kapal	: Express Cantika 88
Trayek	: Pelabuhan Tulehu - Amahai
Jenis Kapal	: Penumpang Cepat

BRT GT	: 266 GT
Material Kapal	: FRP
LOA	: 40.46 m
LWL	: 37.08 m
LBP	: 36.02 m
Lebar Kapal	: 6.75 m
Tinggi Geladak	: 2.75 m
Tinggi sarat	: 1.20 m
Δ (displasemen berat)	: 209,233 ton
Penumpang kelas VIP	: 47 penumpang
Penumpang kelas A	: 65 penumpang
Penumpang kelas B	: 80 penumpang
Penumpang kelas C	: 90 penumpang
Penumpang kelas X	: 72 penumpang

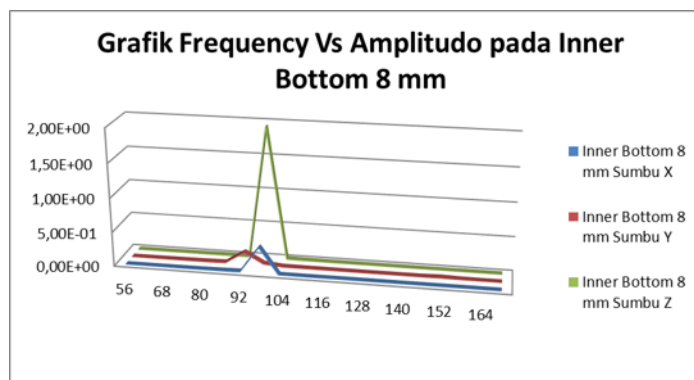
2. Data Permesinan

Merk	: Carterpillar
Daya (MCR)	: 1450 BHP
Rpm	: 1600-2300 Rpm
Panjang	: 290 Cm
Lebar	: 146 Cm
Tinggi	: 150 Cm

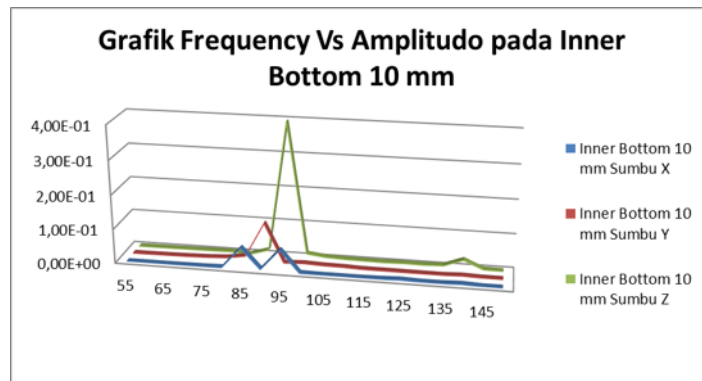
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Amplitudo Getaran pada Inner Bottom berdasarkan 3 Arah Sumbu

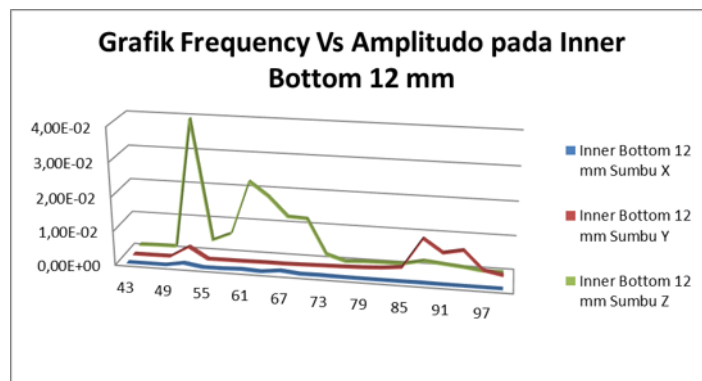
Grafik hasil uji simulasi getaran kondisi *Inner Bottom* dengan ketebalan 8 mm, 10 mm, dan 12 mm, pada arah Sumbu X, Y dan Z dapat dilihat pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 4. Grafik Frekuensi vs Amplitudo untuk *Inner Bottom* 8 mm



Gambar 5. Grafik Frekuensi vs Amplitudo untuk *Inner Bottom* 10 mm

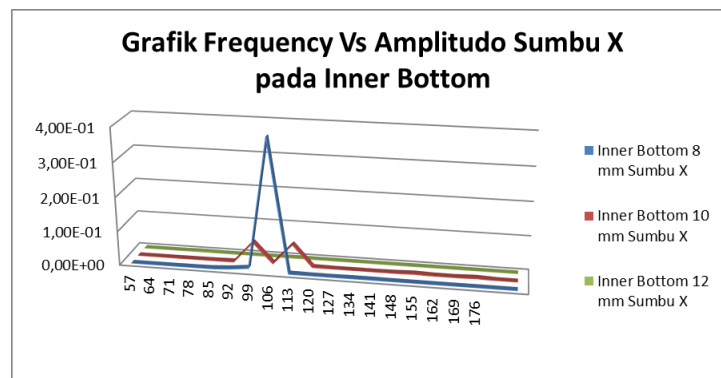


Gambar 6. Grafik Frekuensi vs Amplitudo untuk *Inner Bottom* 12 mm

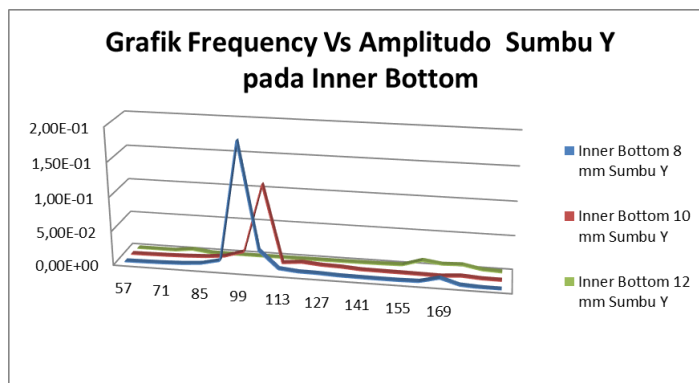
Dari ketiga grafik pada Gambar 4, 5 dan 6, terlihat bahwa amplitudo yang terjadi pada *inner bottom* dengan getaran searah sumbu Z pada ketebalan 8, 10, dan 12 mm lebih besar dibandingkan dengan amplitudo yang terjadi pada sumbu X dan Y. Selanjutnya, pada ketebalan 12 mm, amplitudo getaran arah sumbu X dan Y cukup stabil.

b. Amplitudo Getaran pada Inner Bottom berdasarkan Ketebalan

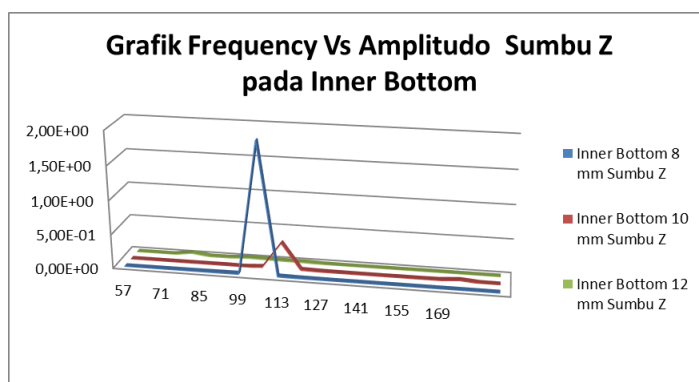
Grafik hasil uji simulasi getaran pada arah sumbu X, Y dan Z, untuk ketebalan *inner bottom* 8 mm, 10 mm, dan 12 mm, dapat dilihat pada gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 7. Grafik Frequency vs Amplitudo *inner bottom* pada arah sumbu X



Gambar 8. Grafik Frequency vs Amplitudo *inner bottom* pada arah sumbu Y



Gambar 9. Grafik Frequency vs Amplitudo *inner bottom* pada arah sumbu Z

Dari 3 grafik di atas terlihat bahwa amplitudo yang terjadi pada *inner bottom* dengan getaran searah sumbu X, Y, dan Z pada ketebalan 8 mm lebih besar dibandingkan dengan amplitudo yang terjadi pada *inner bottom* dengan ketebalan 10 mm dan 12 mm pada sumbu yang sama. Pada ketebalan 12 mm, getaran di *inner bottom* memiliki amplitudo getaran paling kecil yaitu $1,82 \times 10^{-2}$ mm.

4. KESIMPULAN

Penambahan ketebalan yang dilakukan pada konstruksi kapal dapat sangat berpengaruh terhadap amplitudo getaran yang terjadi pada konstruksi kapal. Konstruksi kapal yang menjadi objek penelitian ialah pada *inner bottom* dengan variasi ketebalan 8 mm, 10 mm, dan 12 mm, yang ditinjau pada getaran dalam arah sumbu X, Y, dan Z.

Getaran yang terjadi akibat adanya aktifitas pada ruang mesin melebihi batas izin Barkan yaitu $0,05 > 0,02$ mm, dan pada *inner bottom* sebesar $1,57 \times 10^{-1}$ mm pada ketebalan 8 mm. Melalui penambahan ketebalan *inner bottom* sampai 12 mm, pada penelitian ini nilai amplitudo dapat diturunkan menjadi $1,82 \times 10^{-2}$ mm atau turun sebesar 88,41%.

Penambahan ketebalan sampai 12 mm dapat meningkatkan keselamatan operasional kapal FRP. Penelitian lanjutan diusulkan untuk melihat pengaruh terhadap bagian konstruksi lainnya yang ada di sekitar kamar mesin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Fakultas Teknik Universitas Pattimura yang telah mendanai penelitian ini, sehingga dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Imron, A. (2014). Kerusakan Struktur Akibat Getaran Lokal pada Kapal yang Jarang Diperhatikan: Analisis dan Solusi (Studi Kasus). *Jurnal Kelautan Nasional*, 9(1), 11. <https://doi.org/10.15578/jkn.v9i1.6198>
- Inman, D. J., & Singh, R. C. (2014). *Engineering vibration* (4. ed., internat. ed). Pearson.
- Lekatompessy, D. R. (2023). Analisis Batas Keamanan Struktur Kamar Mesin Kapal Katamaran akibat Penambahan Beban di Atasnya menggunakan Simulasi. *ARIKA*, 17(2), Article 2. <https://doi.org/10.30598/arika.2023.17.2.106>
- Napitupulu, A. M., Yudo, H., & Sisworo, S. J. (2018). Analisa Teknik Penggunaan Serat Pandan Wangi Dan Serat Ampas Tebu Dengan Filler Serbuk Gergaji Kayu Bahan Komposit Pembuatan Kulit Kapal Di Tinjau Dari Kekuatan Lentur Dan Tekan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 6(1), 91–100.
- Rajak, D. K., Pagar, D. D., Menezes, P. L., & Linul, E. (2019). Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications. *Polymers*, 11(10), 1667. <https://doi.org/10.3390/polym11101667>
- Srinivasalu, P., & Vaidyanathan, C. (1976). *Handbook of Machine Foundations* (1 edition). Tata McGraw Hill Education.
- Suhardjono, S. (2004). Analisis Sinyal Getaran untuk Menentukan Jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing). *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 39–48.
- Taury, H. A., & Zakki, A. F. (2018). Normal Modes Analysis of Global Vibration pada Kapal Ikan Tradisional Tipe Purse Seine Daerah Batang, Jawa Tengah, Indonesia. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan*, 15(1), 33–37. <https://doi.org/10.14710/kpl.v15i1.19103>
- Thomson, W. (1996). *Theory of Vibration with Applications*. CRC Press.