



IDENTIFIKASI KERUSAKAN PADA PELAT SANDWICH LAMBUNG SISI MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Identification of Damage to the Side Hull Sandwich Plate using the Finite Element Method

Rizky Chandra Ariesta^{1,a}, Achmad Zubaydi¹, Abdi Ismail¹ dan Tuswan¹

¹Teknik Produksi dan Material Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya, Indonesia

e-mail: ^achandraariesta97@gmail.com

Diterima : 23 Februari 2021; Direvisi: 8 April 2021; Disetujui: 13 April 2021

Abstrak

Pelat *sandwich* merupakan material baru yang tersusun atas material kulit dan material inti yang dapat digunakan untuk menggantikan pelat konvensional pada konstruksi kapal. Penggunaan material ini memiliki kelebihan dengan mengurangi berat sehingga dapat memungkinkan menambah muatan pada kapal. Dalam penerapan pelat *sandwich* diperlukan sistem untuk menentukan kerusakan pada strukturnya. Pada penelitian ini dikembangkan metode identifikasi kerusakan secara menyeluruh berdasarkan respon getaran. Kerusakan diidentifikasi dengan analisis getaran menggunakan metode elemen hingga (FEM). Variabel identifikasi berdasarkan besar volume kerusakan material inti. Analisis dilakukan pada pelat *sandwich* lambung kapal tanker dengan kekuatan yang telah memenuhi standar kelas Llyod's Register (LR). Pelat *sandwich* dimodelkan dengan kondisi batas dijepit kedua sisi untuk mendekati model sesungguhnya. Parameter penentuan besar kerusakan diperoleh dari perubahan frekuensi alami pada pelat. Penurunan frekuensi alami menunjukkan adanya kerusakan pada material inti *sandwich*.

Kata kunci: pelat *sandwich*; metode elemen hingga; identifikasi; frekuensi alami

Abstract

Sandwich plates are the new materials consisting of faceplate and core materials used for replacing conventional plates in ship construction. The use of these materials has the advantage of reducing the weight to allow the addition of cargo to the ship. On the implementation of these plates, a good system is required to determine the damage to its structure. This study developed a method of identifying the damage thoroughly based on vibration response. The damage is identified by vibration analysis using the Finite Element Method (FEM). Identify variables based on the volume of core material damage. The analysis was conducted on tanker hull sandwich plates with Llyod's Register (LR) grade standards strength. Sandwich plates are modeled with boundary conditions clamped to both sides to get close to the real model. Parameters for determining the magnitude of the damage are obtained from natural frequency changes in the plate. The decrease in natural frequency indicates damage to the core material of the sandwich.

Keywords: sandwich plate; finite element method; identification; natural frequency

PENDAHULUAN

Perkembangan material maju pada industri maritim mengalami peningkatan pesat, pelat *sandwich* merupakan salah satunya. Pelat *sandwich* adalah material yang terdiri atas material kulit dan inti. Material inti dapat diisi berbagai jenis komposisi diantaranya *foam*, *polyurethane*, dan *truss*. Lapisan inti memiliki densitas lebih rendah sehingga dapat mengurangi deformasi akibat beban *impact* (Zubaydi & Budipriyanto, 2020).

Material kulit menggunakan bahan baja, sedangkan bahan inti menggunakan elastomer *polyurethane* (PU) yang dikombinasikan dengan *fibreglass*. Campuran lapisan akan menghasilkan kekuatan yang baik dan mengurangi berat lambung kapal, ketahanan terhadap beban benturan, dan meningkatkan redaman terhadap getaran (Utomo dkk., 2017). Penerapan pelat *sandwich* memiliki kelebihan, salah satunya adalah dapat menurunkan berat konstruksi kapal. Pengurangan berat bahan juga mengakibatkan pengurangan biaya produksi. Pengurangan biaya produksi sangat berharga dalam industri perkapalan (Sujiatanti dkk., 2018).

Tujuan lain penerapan pelat *sandwich* adalah memiliki nilai rasio kekakuan terhadap berat sehingga dapat mengurangi penggunaan *stiffener* dalam konstruksi kapal. Penggunaan pelat *sandwich* dapat mengurangi berat keseluruhan hingga 15% dibandingkan dengan struktur dengan penggunaan pelat konvensional. Dalam penelitian lain, penggantian struktur konvensional dengan pelat *sandwich*, mampu mendapatkan pengurangan berat badan antara 5% hingga 12% (Brooking & Kennedy, 2004).

Penggunaan pelat *sandwich* perlu memiliki sistem identifikasi kerusakan untuk memastikan kesatuan, keandalan, dan keamanan pada struktur yang akan digunakan aman. Saat ini, untuk mengidentifikasi kerusakan, ada dua pendekatan yang dapat digunakan. Pendekatan pertama adalah menggunakan teknik identifikasi kerusakan lokal seperti pengujian ultrasonik, *eddy current*, *penetrant test*, *magnetic test*, dan *shearography* (Gholizadeh, 2016). Identifikasi kerusakan lokal ini dapat

diterapkan secara efisien untuk struktur ringan hingga menengah. Sedangkan struktur besar dan kompleks yang sulit dinilai, penggunaan teknik identifikasi kerusakan lokal bisa mahal dan tidak efisien (Yan et al., 2007). Maka dari itu, penggunaan teknik identifikasi kerusakan global lebih banyak diterapkan dan dianggap lebih efektif.

Identifikasi kerusakan secara global banyak menggunakan metode berbasis getaran. Metode ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga (Ismail et al., 2020). Teknik ini dikembangkan dalam metode non-destruktif dengan kelebihan murah dan dapat digunakan pada struktur yang besar. Teknik ini mengevaluasi parameter modal dari struktur yang rusak antara lain frekuensi alami (Yang et al., 2016), bentuk mode (Kaveh & Zolghadr, 2015), dan rasio redaman (Cao et al., 2017).

Kelebihan penggunaan frekuensi alami dapat dengan mudah diukur menggunakan sensor tunggal di beberapa titik di waktu yang sama dan dapat dipantau secara *real-time* dengan akurasi. Meskipun penggunaan frekuensi alami tampaknya menjanjikan, metode ini tidak memberikan informasi tentang ukuran kerusakan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memproses frekuensi alami (Zhang et al., 2013) yang direkam untuk mengukur ukuran kerusakan. Identifikasi kerusakan berbasis getaran dengan parameter kerusakan frekuensi alami telah dilakukan pada *truss* struktur, bahan komposit (Ariesta et al., 2021), dan balok *cantilever* (Radzienski et al., 2011). Pengaruh kerusakan lokal pada perubahan frekuensi alami digunakan untuk mendeteksi kerusakan untuk komposit piramida *truss* inti *sandwich* piring secara eksperimental dan numerik. Frekuensi alami yang diperoleh secara eksperimental dan numerik memiliki kesalahan relatif rata-rata 12,26% (Lou et al., 2014). Pada penelitian ini, identifikasi kerusakan berdasarkan getaran yang diterapkan pada bahan *sandwich*, yang dirancang untuk lambung sisi kapal tanker 17500 DWT, menggunakan elemen terbatas. Bahan pelat *sandwich* diatur dari baja dan bahan inti adalah *polyurethane-elastomer* dengan *fibreglass* matriks. Jenis *sandwich* material yang diidentifikasi telah

memenuhi Lloyd's Register (Lloyd's Register, 2020). Identifikasi kerusakan berdasarkan getaran yang digunakan untuk memeriksa perubahan frekuensi alami *sandwich* material untuk struktur kapal menggunakan metode elemen hingga (Al-Syachri dkk., 2021). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi ukuran kerusakan dengan parameter frekuensi alami.

METODE

Adapun metode yang digunakan untuk mengidentifikasi kerusakan pada pelat *sandwich* pertama menentukan material *properties* dari bahan pelat *sandwich* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data material properti

Properti	Unit	Faceplate	Core
Density	kg/m ³	7850	1098
Modulus elastisitas	MPa	200e9	901,95e6
Poisson's ratio	-	0,300	0,360

Material kulit berbahan baja dan material inti berbahan *polyurethane* matriks fiber. Ketebalan pelat *sandwich* yang digunakan pada kulit atas, inti dan kulit bawah masing-masing adalah 4, 20, dan 4 mm. Ketebalan ini telah memenuhi standar nilai kekuatan dari regulasi (Lloyd's Register, 2020) yaitu $R < 1$. Pengembangan pada analisis ini menggunakan tahap I tingkat analisis dinamis FEA. Kategori ini diambil dari tingkatan analisis modal dinamik dengan FE yang telah diklasifikasikan (Burlayenko & Sadowski, 2018). Dijelaskan bahwa tahapan pemodelan dikembangkan menggunakan *software* FEA dari tingkat kerumitannya memiliki beberapa tingkatan. Penggunaan tingkat I dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan data eksperimen yang didapatkan adalah dari material *sandwich* sesuai data Tabel 1. Analisis ini masuk ke dalam tahapan linier analisis untuk mengetahui respon getaran bebas dari sebuah pemodelan FEA yang dalam yaitu frekuensi natural.

Analisis FEA dihasilkan untuk menyelidiki pengaruh rasio kerusakan dan pengurangan frekuensi alami dari model utuh ke model yang rusak. Model

yang dikembangkan model *sandwich* mengambil area lokal di lambung samping tanker dengan ketebalan piring yang ada adalah 12 mm. Gambar 1. menunjukkan model 3D dari material pelat *sandwich*. Pemodelan dilakukan dengan *finite element analysis software*. Ukuran model adalah 300 x 300 x 28 mm. Model kulit dan inti menggunakan jenis elemen (C3D8) atau *eight-node linier brick* tipe solid. Sedangkan Gambar 2 menunjukkan kondisi batas yang diterapkan pada pemodelan diasumsikan sama dengan kondisi pelat pada konstruksi kapal yaitu di jepit pada bagian kanan dan kiri, kondisi jepit ini dianggap sebagai pelat yang dijepit oleh kedua gading kapal.

Interaksi pada material kulit dan inti menggunakan *frictionless interaction* dengan *tie constrain*. Analisis konvergensi dilakukan untuk mendapatkan akurasi hasil analisis. Kerusakan dimodelkan pada sisi pelat dengan mengasumsikan terjadi kerusakan dengan besar volume kerusakan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Variasi kerusakan

Material	Unit	Ukuran	Volume
Tanpa kerusakan	mm	-	0
Kerusakan 1	mm	25 x 10 x 5	125
Kerusakan 2	mm	58 x 50 x 8	232
Kerusakan 3	mm	96 x 60 x 8	498

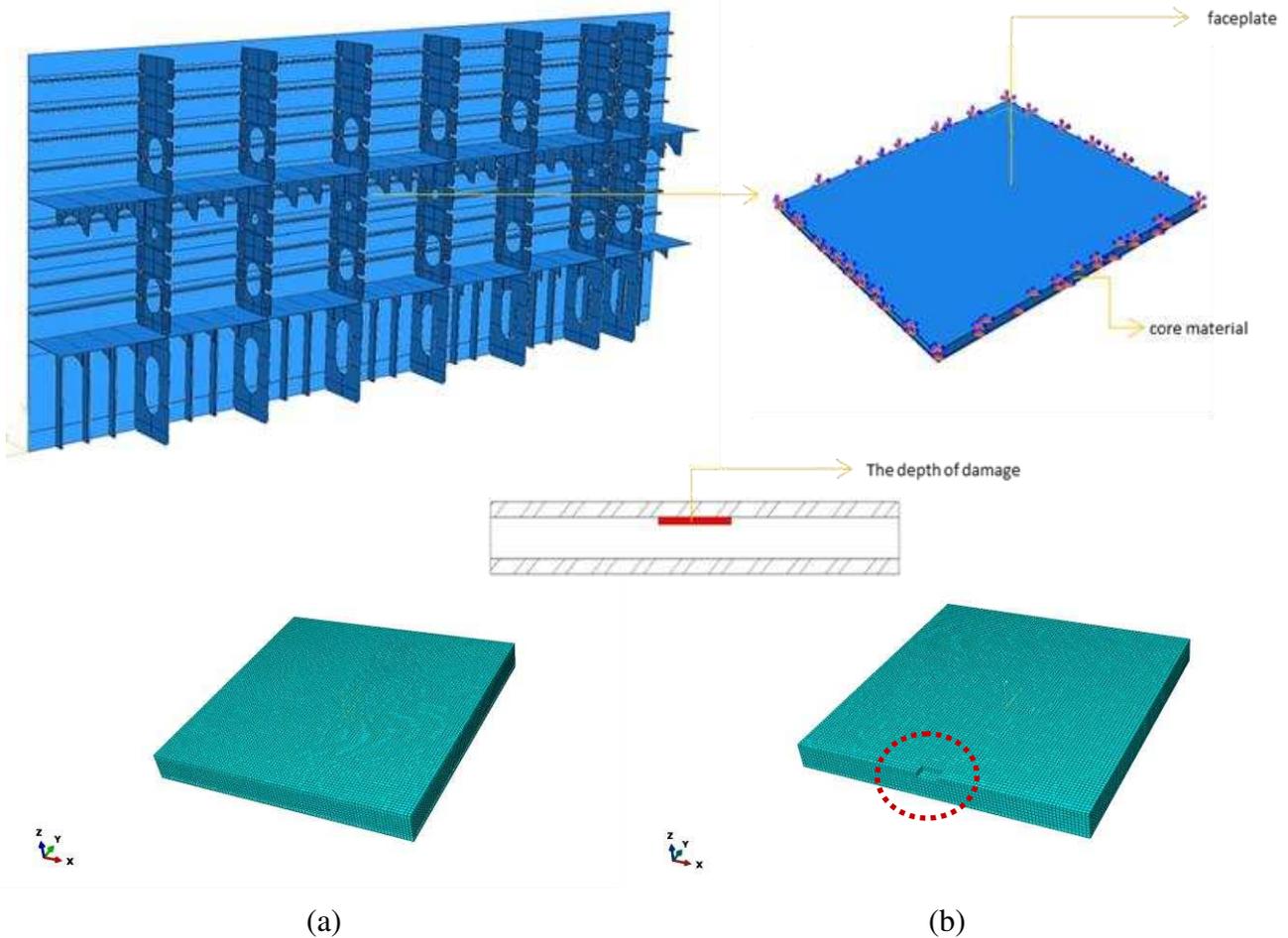
Analisis frekuensi alami dilakukan pada lima mode pertama parameter untuk menghitung besar kerusakan digunakan Persamaan 1:

$$D = \frac{V_d}{V_{total}} \tag{1}$$

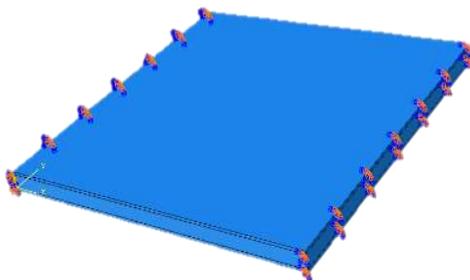
Nilai D adalah rasio kerusakan (%), V_d adalah volume kerusakan dan V_t adalah area total material inti, penurunan frekuensi alami dihitung dengan Persamaan 2:

$$\Delta f = \frac{|f_D - f_I|}{f_I} 100\% \tag{2}$$

Nilai Δf adalah perubahan nilai frekuensi alami (%) yang menjadi parameter tersebut



Gambar 1. FEM 3D model: (a) kondisi tanpa kerusakan, (b) letak kerusakan



Gambar 2. Kondisi batas

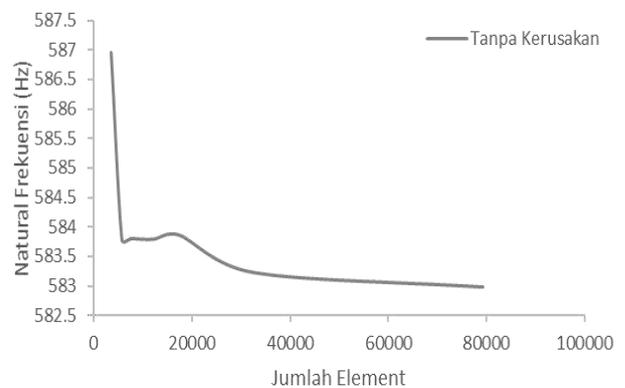
f_D adalah frekuensi alami pelat rusak (Hz) dan f_I adalah frekuensi alami pelat utuh (Hz). Pada penelitian ini difokuskan pada besar penurunan frekuensi akibat volume kerusakan yang terjadi pada pelat *sandwich*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Konvergensi

Konvergensi studi diperlukan untuk memperoleh dimensi elemen yang sesuai untuk dipakai dalam analisis. Metode ini dilakukan untuk

mendapatkan kestabilan hasil sehingga dapat diperoleh akurasi hasil yang sesuai. Peningkatan jumlah elemen akan berkorelasi dengan lamanya proses analisis. Kepadatan elemen belum tentu mendapatkan hasil yang valid karena menimbulkan komputasi yang lama (Misbah et al., 2018).



Gambar 3. Konvergensi studi

Pemodelan pada penelitian mendapatkan ukuran *meshing* yang sesuai dengan menyesuaikan

ukuran *mesh* dari ukuran 9 hingga 3 mm dan sehingga dihasilkan nilai konvergensi kondisi pelat *sandwich* tanpa kerusakan yang dapat dilihat pada Gambar 3. Konvergen dicapai pada elemen 79200 dengan ukuran *meshing* 3 mm. Ukuran *meshing* ini digunakan untuk analisis pada kerusakan I, II dan III.

Analisis Frekuensi Alami

Pemodelan metode elemen hingga dilakukan untuk menentukan karakteristik getaran pada kondisi pelat *sandwich* tanpa kerusakan dan dengan kerusakan, evaluasi karakteristik getaran dilakukan berdasarkan frekuensi alami. Model pelat *sandwich* dikembangkan dan dianalisis untuk mendapatkan nilai penurunan frekuensi alami pada kondisi tanpa kerusakan dan dengan kerusakan. Analisis ini dilakukan berdasarkan teori dari kekakuan benda yang bergetar akan mengalami penurunan frekuensi alami akibat terjadinya penurunan kekakuan dalam hal ini penurunan kekakuan diakibatkan oleh adanya volume kerusakan pada material inti. Besar kerusakan pada kerusakan I, II dan III adalah sebesar 0,007%, 0,0013% dan 0,0028%. Penentuan parameter kerusakan ditetapkan untuk mengetahui sensitivitas kerusakan yang dapat dideteksi. Pemilihan persentase yang kecil dilakukan untuk mengetahui seberapa kecil ukuran kerusakan yang dapat dideteksi. Berdasarkan parameter kerusakan tersebut didapatkan

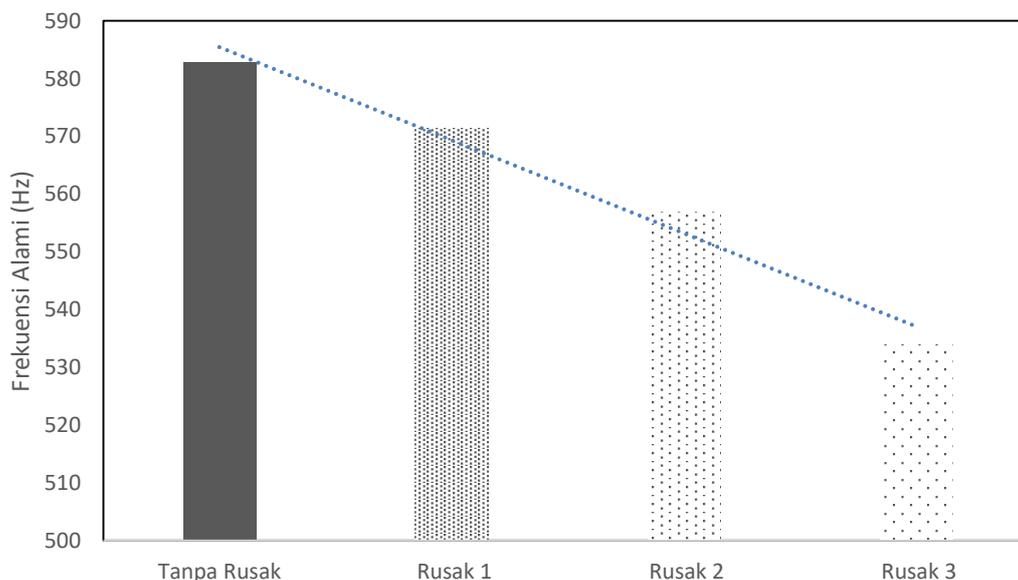
nilai frekuensi alami pada empat mode pertama ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil simulasi FEM

Mode	Frekuensi Alami (Hz)			
	0%D	7.10 ⁻³ %D	13.10 ⁻³ %D	28.10 ⁻³ %D
1	582,82	571,45	556,89	533,87
Δf	-	2%	4%	8%

Penurunan natural frekuensi mengalami perubahan, dengan semakin besar kerusakan maka penurunan natural frekuensi semakin besar pula. Frekuensi alami mengalami penurunan seiring bertambahnya besar kerusakan di Gambar 5.

Indikasi terjadinya kerusakan pada penelitian ini adalah berdasarkan selisih nilai frekuensi alami. Parameter yang digunakan ini menghasilkan nilai selisih frekuensi alami yang memiliki kecenderungan tren (Seguel & Meruane, 2018). Perubahan frekuensi alami relatif juga dikembangkan oleh (Sha et al., 2019). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, semakin tinggi selisih frekuensi alami maka kerusakan yang terjadi akan semakin besar. Sehingga diperlukan penelitian untuk mengetahui pengaruh respon statis dan dinamis untuk mendapatkan karakteristik identifikasi yang lebih detail (Tuswan, et al., 2021).



Gambar 5. Selisih penurunan frekuensi alami

KESIMPULAN

Penelitian ini mengidentifikasi pengembangan deteksi kerusakan berbasis getaran. Deteksi kerusakan dilakukan pada pelat *sandwich* lambung sisi kapal dengan bahan material inti *polyurethane* elastomer dengan matriks fiber. Parameter yang ditetapkan untuk mengetahui terjadi kerusakan adalah penurunan selisih frekuensi alami pada pelat *sandwich* dengan metode elemen hingga. Maka dapat disimpulkan semakin besar selisih nilai frekuensi alami maka kerusakan yang dialami pelat *sandwich* memiliki volume yang semakin besar. Pengembangan metode elemen hingga dapat diterapkan di kapal dengan syarat parameter frekuensi alami tertentu diketahui pada pelat *sandwich* yang diaplikasikan sehingga ukuran kerusakan dapat diprediksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua atas bimbingan dan doa yang telah diberikan dalam pembuatan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada dosen pembimbing, seluruh teman-teman dan civitas akademik Departemen Teknik Perkapalan serta semua pihak yang turut membantu dalam pengerjaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Syachri, M. Z., Zubaydi, A., Ismail, A., Ariesta, R. C., & Tuswan. (2021). Identifikasi Kerusakan Berbasis Getaran Plat Sandwich pada Konstruksi Lambung Kapal. *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 9 (2), 9 (2), G184-G190.
- Ariesta, R. C., Zubaydi, A., Ismail, A., Tuswan, & Al-Syachri, M. Z. (2021). Identification of Damage in a Ship Hull Sandwich Plate by Natural Frequency. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1034 (1)*, 1034 (1), 1-10.
- Brooking, M. A., & Kennedy, S. J. (2004). The Performance, Safety and Production Benefits of SPS Structures for Double Hull Tankers. *Proceedings of the RINA Conference on Double Hull Tankers* (pp. 1-18). London: UK.
- Burlayenko, V. N., & Sadowski, T. (2018). Linear and Nonlinear Dynamic Analyses of Sandwich Panels with Face Sheet-to-Core Debonding. *Shock and Vibration*, 2018 (<https://doi.org/10.1155/2018/5715863>), 1-26.
- Cao, M. S., Sha, G. G., Gao, Y. F., & Ostachovicz, W. (2017). Structural Damage Identification using Damping a Compendium of Uses and Features. *Smart Materials and Structure* 26, 26 (4), 1-14.
- Gholizadeh, S. (2016). A Review of Non-Destructive Testing Methods of Composite Materials. *Procedia Structural Integrity, Vol. 1*, 50-57.
- Ismail, A., Zubaydi, A., Pisceca, B., Ariesta, R. C., & Tuswan. (2020). Vibration-Based Damage Identification for Ship Sandwich Plate using Finite Element Method. *Open engineering, Vol. 10 (1)*, 10, 744-752.
- Kaveh, A., & Zolghadr, A. (2015). An Improved CSS for Damage Detection of Truss Structures using Changes in Natural Frequencies and Mode Shapes. *Advanced Engineering Software, Vol. 80*, 80, 93-100.
- Lloyd's Register. (2020). *Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure*. United Kingdom: Lloyd's Register Group.
- Lou, J., Wu, L., Ma, L., Xiong, J., & Wang, B. (2014). Effects of Local Damage on Vibration Characteristics of Composite Pyramidal Truss Core Sandwich Structure. *Composite Part B: Engineering, Vol. 62*, 62, 73-87.
- Misbah, M. N., Sujatanti, S. H., Setyawan, D., Ariesta, R. C., & Rahmadianto, S. (2018). Structural Analysis on the Block Lifting in Shipbuilding Construction Process. *MATEC Web of Conferences 177*, 177, 1-6.
- Radzienski, M., Krawczuk, M., & Palacz, M. (2011). Improvement of Damage Detection Methods based on Experimental Modal Parameters. *Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 25 (6)*, 25, 2169-2190.



- Seguel, F., & Meruane, V. (2018). Damage Assessment in a Sandwich Panel based on Full-Field Vibration Measurements. *Journal of Sound Vibration*, Vol. 417, 417, 1-18.
- Sha, G., Radziński, M., Cao, M., & Ostachowicz, W. (2019). A Novel Method for Single and Multiple Damage Detection in Beams using Relative Natural Frequency Change. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 132, 132, 335-352.
- Sujatanti, S. H., Zubaydi, A., & Budipriyanto, A. (2018). Finite Element Analysis of Ship Deck Sandwich Panel. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 874, 874, 134-139.
- Tuswan, Zubaydi, A., Piscesa, B., Ismail, A., Ariesta, R. C., Ilham, M. F., et al. (2021). Influence of Application of Sandwich Panel on Static and Dynamic Behaviour of Ferry Ro-Ro Ramp Door. *Journal of Applied Engineering Science*, Vol. 19 (1), 19 (1), 208-216.
- Utomo, E., Zubaydi, Achmad, & Budipriyanto, A. (2017). Metode Pembuatan Sandwich Panel pada Skala Laboratorium untuk Konstruksi Kapal. *WAVE: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, 11 (1), 7-14.
- Yan, Y. J., Cheng, L., Wu, Z. Y., & Yam, L. H. (2007). Development in Vibration-Based Structural Damage Detection Technique. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 21 (5), 2198-2211.
- Yang, C., Hou, X., Wang, L., & Zhang, X. (2016). Application of Different Criteria in Structural Damage Identification Based on Natural Frequency and Static Displacement. *Science China Technological Sciences*, Vol. 59 (11), 59 (11), 1746-1758.
- Zhang, Z., Shankar, K., Ray, T., Morozov, E. V., & Tahtali, M. (2013). Vibration-Based Inverse Algorithm for Detection of Delamination in Composite Structure. *Composite Structure*, Vol. 102, 102, 226-236.
- Zubaydi, A., & Budipriyanto, A. (2020). *Material Sandwich: Teori, Desain dan Aplikasi* (1st ed.). Surabaya: Airlangga University Press.

HALAMAN KOSONG