

# STUDY PENGGUNAAN *STEEL-BASED HYBRID SANWICH PLATE* ASTM A36 dengan *CORE MATERIAL POLYURETHANE ELASTOMER* pada KONSTRUKSI KAPAL

Heni Siswanti<sup>1)</sup>, M. Musta'in<sup>1)</sup>, Tristiandinda P<sup>1)</sup>, Arisessy Mulananda<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Negeri Madura  
Sampang, Jawa Timur, Indonesia 69281

Email: [henisiswanti31@gmail.com](mailto:henisiswanti31@gmail.com)/[heni@poltera.ac.id](mailto:heni@poltera.ac.id)

## Abstrak

Konstruksi kapal konvensional umumnya terdiri dari plat berpenegar. Perpotongan interseksi dari penegar-penegar pada konstruksi ini merupakan posisi kritis, yang berpotensi mengalami kerusakan struktur seperti fatigue crack. Perkembangan terbaru pada bidang material kapal telah menemukan material yang kuat, ringan dan juga meminimalisir masalah potensi kerusakan seperti fatigue crack. Salah satunya adalah aplikasi plat *sandwich* untuk menggantikan konstruksi konvensional plat berpenegar. Steel-based hybrid *sandwich* plate terdiri dari dua *faceplate* berbahan baja dan *core* material polyurethane elastomer yang direkatkan dengan adhesive. Pada studi ini dianalisis aplikasi steel-based hybrid *sandwich* untuk menggantikan plat berpenegar pada konstruksi *double bottom* kapal tanker. Kekuatan dari tiga variasi konfigurasi struktur *sandwich* dianalisis menggunakan Finite Element Method (FEM) kemudian dibandingkan dengan konstruksi konvensional plat berpenegar. Nilai tegangan maksimum, tegangan rata-rata, deformasi dan berat konstruksi dibandingkan dan dianalisis. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan konfigurasi penegar tertentu aplikasi hybrid *sandwich* ini mampu menurunkan tegangan, deformasi dan berat material dari konstruksi *inner bottom*.

Kata Kunci: hybrid *sandwich*, penegar, tegangan, deformasi, berat

## Abstract

Conventional ship structures usually consist of a stiffened plate. The intersection of the secondary stiffener of the stiffened plate structure is the critical position with a high potential for structural damages such as fatigue crack. The recent development of material technology in the marine industry is how to find the strength and lightweight material and also minimize structural problems such as fatigue cracks. One of them is the application of *sandwich* plates to replace the stiffened plate construction. Steel-based hybrid *sandwich* plates consist of two steel *faceplates* and elastomer *core* material bonded by adhesive. This study has analyzed the application of steel-based hybrid *sandwich* plates to replace stiffened plates on the oil tanker's *inner bottom* structure. The strength of three configurations of the *inner bottom sandwich* structure has been analyzed by using the Finite Element Method and compared to conventional stiffened plate structure. The maximum stress, average stress, maximum deformation, and weight of the structure have been compared and analyzed. The results show that the application of a hybrid *sandwich* with a certain stiffener configuration can reduce stress, deformation, and weight of the *inner bottom* structure

Keywords: hybrid *sandwich*, stiffener, stress, deformation, weight

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu inovasi yang terus dikembangkan dalam bidang material kapal adalah menemukan material yang ringan, kuat, dan mampu menyederhanakan konstruksi kapal. Akhir-akhir ini penggunaan material *sandwich* pada struktur kapal telah banyak dikembangkan. Material ini berupa panel *sandwich* yang terdiri dari *face plate* yang relatif tipis dan material inti (*core material*) dengan tebal tertentu [1]. Material

ini digunakan untuk menggantikan plat berstiffener, yang diterapkan pada struktur kapal untuk meningkatkan kekakuan lentur yang tinggi terhadap rasio berat [2]. Selain itu juga untuk mengurangi berat konstruksi secara keseluruhan [3]. Penggunaan material *sandwich* pada konstruksi kapal telah diatur oleh Lloyd's Register [4]. Konstruksi kapal baja konvensional umumnya terdiri dari plat tipis yang diberi penguat berupa main stiffeners dan secondary stiffeners. Pertemuan antara kedua jenis stiffener ini menghasilkan

perpotongan (*intersection*) berupa sudut pengelasan yang merupakan titik yang berpotensi mengalami kerusakan struktur seperti korosi, kerusakan coating dan retak lelah (*fatigue crack*) [2]. Pada konstruksi kapal baja, penggunaan *steel-based sandwich plate* dapat menjadi pilihan untuk mengatasi masalah tersebut. *Steel-based sandwich plate* terdiri dari *faceplate* dengan material baja dan material inti (*core material*) dari bahan polyurethane elastomer (PU). *Faceplate* umumnya memiliki kekakuan yang tinggi, sedangkan material *core* memiliki kekuatan, kekakuan dan kepadatan yang lebih rendah [5]. Konfigurasi yang tepat akan menghasilkan pengurangan berat dan meningkatkan kekakuan (*stiffness*) dari struktur [3].

Plat *sandwich* pada awalnya dikembangkan untuk aplikasi aeronautical, akan tetapi kemudian dikembangkan untuk bidang marine seperti pada bangunan kapal. Beberapa penelitian tentang penggunaan plat *sandwich* pada konstruksi kapal telah dilakukan sebelumnya, yaitu aplikasi pada deck [6] [7], *car deck* [8] [9], *side sheel* [10] [11] [12] dan juga pada *double hull* kapal tanker [13]. Selain untuk konstruksi kapal material ini juga telah dikembangkan untuk aplikasi pada bangunan offshore [14]. Hasil dari penelitian-penelitian tersebut menyatakan bahwa penggunaan plat *sandwich* pada bagian-bagian kapal tersebut beberapa mampu menurunkan tegangan, meskipun ada beberapa yang menunjukkan kenaikan nilai tegangan. Akan tetapi secara umum semuanya masih memenuhi syarat tegangan ijin. Demikian juga yang terjadi pada nilai deformasi struktur. sedangkan untuk perubahan berat konstruksi menunjukkan adanya penurunan [3].

Meskipun penerapan struktur *sandwich* telah diteliti pada berbagai posisi konstruksi kapal, akan tetapi belum ada yang melakukan study penggunaan *sandwich* ini untuk konstruksi inner *bottom* yang terkena beban muatan. Oleh karena itu pada studi ini dilakukan analisis terhadap penggunaan plat

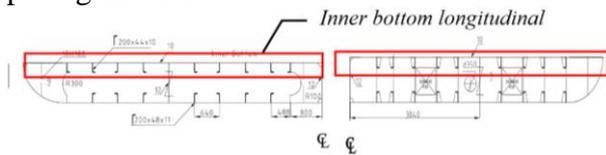
*sandwich* pada struktur inner *bottom* kapal tanker. Jenis *sandwich* yang digunakan adalah steel-based hybrid *sandwich*, dengan *faceplate* baja dan *core* berupa matriks polyurethane. Material plat yang digunakan untuk konstruksi konvensional dan *faceplate* pada konstruksi *sandwich* diasumsikan sama yaitu baja ASTM A36. Sedangkan *core* material untuk plat *sandwich* adalah polyurethane elastomer. Analisis kekuatan dilakukan dengan menggunakan finite element method (FEM) untuk mendapatkan nilai tegangan maksimum, tegangan rata-rata dan deformasi maksimum. Selain itu juga akan dilihat pola distribusi tegangan dan juga estimasi berat konstruksi. Hasilnya dibandingkan dengan konstruksi konvensional plat berpenegar, untuk melihat kompatibilitas penggunaan plat *sandwich* tersebut pada konstruksi *double bottom* kapal.

## 2. METODE

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan kekuatan dan berat dari konstruksi konvensional plat berpenegar (*stiffened plate*) dengan konstruksi *sandwich*. Bagian konstruksi yang dimodelkan adalah konstruksi inner *bottom* pada ruang muat KM X. Pada konstruksi *sandwich*, plat berpenegar diganti dengan plat *sandwich* dengan menghilangkan *secondary stiffener* berupa pembujur alas dalam (*inner bottom longitudinal*) dan mempertahankan komponen konstruksi *plate floor* dan *girder*.

Kapal ini memiliki 6 tangki muat di sisi starboard dan 6 ruang muat di sisi portside, dengan bentuk simetris yang dipisahkan oleh sekat memanjang di *centerline*. Panjang tangki muat masing-masing adalah 8,8 m, dengan lebar sesuai dengan lebar setempat. Posisi tangki muat terletak antara *frame 38* hingga *frame 62*, dengan jarak antar *plate floor* pada daerah ruang muat sebesar 2200 mm. Model numerik yang dianalisis adalah konstruksi *double bottom* dari salah satu ruang muat yang terletak di paralel *middle body*. Bentuk konstruksi konvensional plat

berpenegar pada posisi tersebut ditunjukkan pada gambar 1.



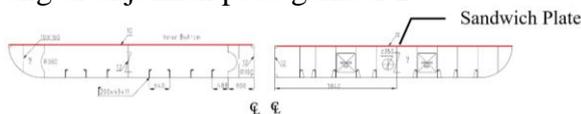
Gambar 1. Konstruksi konvensional (stiffened plate) pada inner bottom

Type konstruksi pada double bottom ini adalah tipe konstruksi memanjang, dengan jarak antar pembujur sebesar 640 mm. Komponen konstruksi yang lain meliputi tebal plat, modulus dan ukuran profil ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Komponen konstruksi double bottom KM X

No	Komponen Konstruksi	Ukuran/Tebal
1	Inner Bottom Plate	10 mm
2	Inner Bottom Longitudinal	200 x 44 x 10 (mm)
3	Bottom Plate	10 mm
4	Bottom Longitudinal	200 x 48 x 11 (mm)
5	Side Girder	12 mm
6	Center Girder	12 mm
7	Solid Floor	9 mm
8	Bracket Floor	9 mm

Konstruksi plat berpenegar pada inner bottom tersebut diubah dengan menggantikan inner bottom plate dan inner bottom longitudinal dengan plat sandwich seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2 Konstruksi Inner Bottom pada konstruksi Sandwich

Perbedaan properties material dari konstruksi konvensional dan konstruksi sandwich yang dianalisis ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Properties material konstruksi konvensional dan sandwich

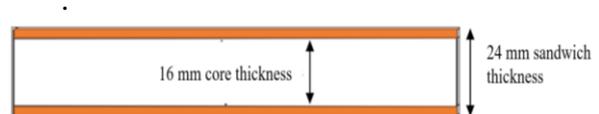
Konst	Material	Density	E	v	Yield Stress
-------	----------	---------	---	---	--------------

		Kg/m <sup>3</sup>	Gpa	Mpa	
Konvensional	Bottom Plate	7850	200	0.3	250
Sandwich	Faceplat	7850	200	0.3	250
	Core	1150	0.248	0.36	34.5

Model numerik dari kedua konstruksi tersebut dibuat untuk dianalisis dengan menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method).

### 2.1 Desain Konstruksi Sandwich

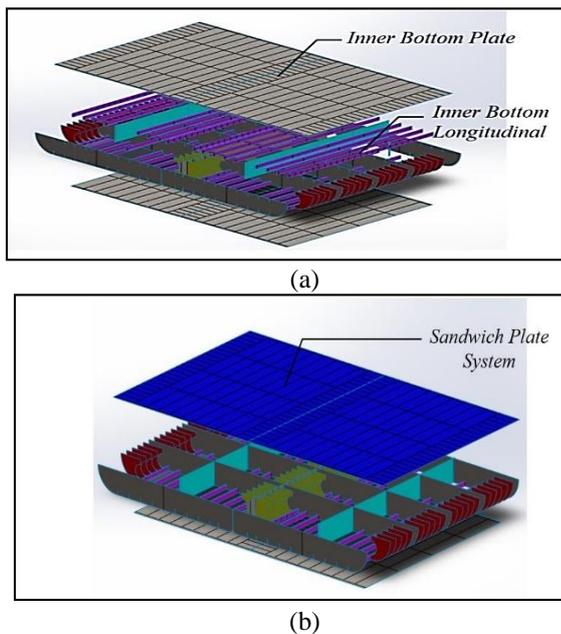
Dalam mendesain konstruksi sandwich pada double bottom, langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung tebal plat sandwich baik faceplate maupun core material. Perhitungan mengacu pada aturan dari Lloyd's [4]. Modulus konstruksi konvensional plat berpenegar dihitung untuk kemudian digantikan dengan plat sandwich dengan modulus yang ekuivalen. Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai indeks kekuatan (R) material sandwich, untuk memastikan kekuatan sandwich plate setara dengan kekuatan konstruksi plat berpenegar yang akan diganti. Berdasarkan regulasi, nilai indeks kekuatan material SPS yang harus dipenuhi adalah  $R \leq 1$ . Dari hasil perhitungan didapatkan tebal plat sandwich adalah 24 mm, yang terdiri dari tebal faceplate masing-masing 4 mm dan tebal core material 16 mm, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3



Gambar 3. Ilustrasi tebal plat sandwich

Selanjutnya dilakukan pembuatan model numerik dari kedua konstruksi tersebut. Tahap ini dimulai dengan pembuatan part tiap-tiap komponen konstruksi, kemudian dilanjutkan dengan proses penggabungan (assembly), sehingga menjadi bentuk konstruksi double bottom yang utuh. Model

numerik dari konstruksi konvensional dan konstruksi *sandwich* ditunjukkan pada gambar 4 (a) dan (b).



Gambar 4. (a) Model numerik konstruksi konvensional; (b) model numerik konstruksi *sandwich*.

Dari gambar 4 (a) dan (b) dapat dilihat ilustrasi perubahan pada desain konstruksi ini adalah penggantian plat *inner bottom* dengan plat *sandwich*. Pada konstruksi konvensional plat *inner bottom* diberi penguatan berupa pembujur alas dalam (*inner bottom longitudinal*) dan wrang plat (*plate floor*). Sesuai dengan tujuannya untuk mengurangi *intersection* antar stiffener maka pada konstruksi *sandwich* komponen *inner bottom longitudinal* dihilangkan, akan tetapi wrang plat dan girder tetap dipertahankan. Plat *sandwich* yang digunakan memiliki modulus yang ekuivalen dengan konstruksi yang digantikan.

### 2.2 Analisis Kekuatan & Estimasi Berat Konstruksi

Langkah selanjutnya adalah analisis kekuatan konstruksi pada kedua model numerik, untuk mengetahui perbandingan kekuatannya. Analisis dilakukan dengan melakukan simulasi berupa pemberian beban

statis pada konstruksi tersebut. Beban statis terdistribusi merata sebesar 90 KN yang diberikan diasumsikan sebagai beban muatan yang mengenai bagian konstruksi tersebut. Arah beban yang diberikan sesuai dengan arah gaya berat dari muatan yaitu vertikal kebawah. Kekuatan konstruksi ditunjukkan dengan nilai tegangan maksimum (*von misses*), tegangan rata-rata (*average stress*) dan besar deformasi maksimum yang dialami oleh konstruksi *inner bottom*. Analisis kekuatan konstruksi dilakukan menggunakan *finite element method* (FEM). Selanjutnya dilakukan estimasi berat konstruksi baik pada konstruksi konvensional maupun konstruksi *sandwich*. Selain itu juga dihitung estimasi pengurangan pekerjaan pengelasan karena penggantian konstruksi konvensional plat berpenegar ke konstruksi *sandwich*.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis dari model numerik pada kedua konstruksi tersebut adalah nilai tegangan, deformasi dan juga berat konstruksi.

#### 3.1 Tegangan (*Stress*)

Simulasi numerik pada kedua model tersebut menghasilkan nilai tegangan pada setiap model. Dari nilai tegangan tersebut dilihat berapa rasio tegangan ijin dari konstruksi tersebut. Apabila rasio tegangan yang dihasilkan lebih kecil dari rasio tegangan ijin yang disyaratkan oleh kelas maka tegangan dianggap memenuhi persyaratan. Rasio tegangan ijin maksimum adalah 0,72, oleh karena itu jika rasio tegangan ijin dianggap memenuhi jika nilainya kurang nilai tersebut. Nilai tegangan maksimum, tegangan rata-rata dan rasio tegangan ijin ditunjukkan pada tabel 3.

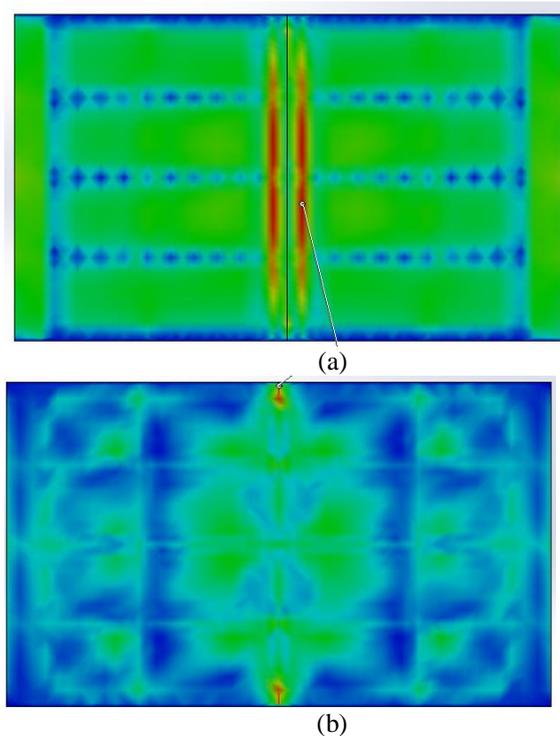
Tabel 3. Hasil Analisis Tegangan

Konstruksi	Material Faceplate	Max Stress/ Von Misses	Average Stress
		Mpa	Mpa

<b>Konvensional</b>	ASTM A36	112.34	21.94
<b>Sandwich A</b>	ASTM A36	99.80	20.53

Dari tabel 3 dapat diketahui bahwa ketika konstruksi *double bottom* konvensional plat berpenegar diganti dengan konstruksi *sandwich*, maka akan terjadi penurunan tegangan maksimum. Pada model *sandwich* terjadi penurunan tegangan sebesar 11,15 %. Penurunan tegangan ini juga terjadi pada tegangan rata-rata (*average stress*). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan konstruksi *sandwich* untuk menggantikan konstruksi plat berpenegar pada memberikan keuntungan berupa penurunan tegangan. Hasil ini serupa dengan hasil penelitian sebelumnya yang menganalisis tegangan pada penerapan konstruksi *sandwich* pada plat geladak, side shell dan car deck yang juga menunjukkan penurunan tegangan maksimum [7] [9] [11]. Rasio tegangan ijin ( $\sigma$ ) dari konstruksi *sandwich* adalah 0,40, menunjukkan nilai memenuhi kriteria, dimana nilai rasio tegangan ijinnya dibawah 0,72.

Pola distribusi tegangan pada model numerik konstruksi konvensional dan konstruksi *sandwich* juga menunjukkan perbedaan. Perbedaan ini dapat dilihat pada gambar 5. (a) dan (b) yang menunjukkan kontur distribusi tegangan. Perubahan warna dari biru, hijau ke merah menunjukkan nilai tegangan dari rendah ke tinggi. Dari perbedaan warna kontur tegangan pada gambar 5 dapat diketahui bahwa pada konstruksi *sandwich* bahwa sebagian besar dari luas *double bottom* mengalami tegangan rendah, sementara pada konstruksi *sandwich* mengalami tegangan yang lebih tinggi. Begitu juga daerah yang mengalami tegangan maksimum pada konstruksi *sandwich* luasannya lebih kecil daripada luasan konstruksi konvensional. Meskipun posisinya sama-sama berada disekitar center girder.



Gambar 5. (a) Pola distribusi tegangan pada model konstruksi konvensional; (b) pola distribusi tegangan pada model konstruksi *sandwich*

### 3.2 Deformasi

Analisis selanjutnya adalah analisis deformasi. Sebagaimana nilai tegangan maksimum dan tegangan rata-rata, maka nilai deformasi pada model *sandwich* juga mengalami penurunan dibandingkan dengan model konstruksi konvensional. Nilai deformasi pada model *sandwich* adalah 7,25 mm. Nilai ini lebih rendah daripada deformasi konstruksi konvensional yaitu 8,75 mm. Dengan asumsi properties material yang sama antara plat *inner bottom* dan *faceplate sandwich* maka penggunaan plat *sandwich* ini menurunkan deformasi. Nilai penurunan deformasi yang terjadi adalah sebesar 17,14% Penurunan nilai deformasi juga terjadi pada penelitian terdahulu pada beberapa posisi konstruksi yang lain [9] [10] [11] [13]. Hasil analisis deformasi ini menunjukkan bahwa penggunaan plat *sandwich* juga memberikan keuntungan berupa penurunan nilai deformasi.

### 3.3 Estimasi Berat Konstruksi

Tahap selanjutnya adalah analisis terhadap berat konstruksi, dimana berat model konstruksi konvensional dan model konstruksi *sandwich* dibandingkan. Dengan asumsi dari berat jenis baja adalah  $7850 \text{ kg/m}^3$  dan berat jenis *core* material polyurethane (PU)  $1150 \text{ kg/m}^3$  maka berat konstruksi konvensional adalah 30,95 ton dan berat konstruksi *sandwich* adalah 28,24 ton. Berat konstruksi *sandwich* mengalami penurunan sebesar 8,76% dibandingkan dengan berat konstruksi konvensional. Penurunan berat ini sepakat dengan hasil penelitian sebelumnya pada bagian konstruksi lain yang juga menunjukkan nilai penurunan berat kurang lebih 9% [2] [3] [15]. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan konstruksi *sandwich* memberikan keuntungan dari sisi penurunan berat konstruksi yang merupakan komponen terbesar penyusun LWT kapal. Jika konstruksi *sandwich* ini diterapkan maka diharapkan bisa menurunkan berat LWT, sehingga meningkatkan *payload*.

Sesuai dengan tujuan untuk mengurangi *intersection* pada perpotongan antar penegar maka pada konstruksi *sandwich* inner *bottom* longitudinal dihilangkan, sedangkan wrang plat dan girder tetap dipertahankan. Tanpa penggunaan *inner bottom longitudinal* pada konstruksi *sandwich* ini maka dapat mengurangi pekerjaan pengelasan sepanjang 158,4 m.

## 4. KESIMPULAN

Pada model kapal ini dengan asumsi penggunaan plat *sandwich* pada konstruksi *double bottom* menghasilkan penurunan tegangan maksimum sebesar 11,15% daripada tegangan konstruksi konvensional. Dengan asumsi material *faceplate sandwich* dan plat inner *bottom* menggunakan baja ASTM A36, maka penurunan juga terjadi pada nilai deformasi dan berat material yaitu masing-masing sebesar 17,14% dan 8,76%. Dengan asumsi penggunaan pada konstruksi *sandwich* tidak menggunakan pembujur alas dalam,

maka panjang pekerjaan pengelasan dapat dikurangi sebesar 158,4 m.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Kepada seleuruh pihak yang mendukung penelitian ini kami ucapkan banyak terimakasih.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Utomo, A. Zubaydi dan P. Pratisna, "Study of Core Material Sandwich Panel in Ship Construction," dalam *The 2nd International Seminar on Science and Technology*, Surabaya, 2016.
- [2] S. Sujiatanti, A. Zubaydi dan A. Budipriyanto, "Finite element analysis of ship deck sandwich panel," *Applied Mechanics and Materials* 874, no. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.874.134, pp. 134-139, 2018.
- [3] N. Momcilovic dan M. Motok, "Estimation of ship lightweight reduction by means of application of sandwich plate system," *FME Trans vol. 37, no. 3*, p. 123–128, 2009.
- [4] Lloyd's Register, Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure, Lloyd's Register, 2020.
- [5] H. Ardhyanta, E. Sari, S. Wicaksono, H. Ismail, Tuswan dan A. Ismail, "Characterization of Vinyl Ester Bio-resin for Core Material Sandwich Panel Construction of Ship Structure Application: Effect of Palm Oil and Sesame Oil," dalam *AIP Conference Proceedings* 2202, 2019.
- [6] K. Abdullah, A. Zubaydi dan A. Budipriyanto, "Aplikasi Sandwich Plate

- System Berbahan Core Limbah Cangkang Kerang pada Geladak Kapal,” *Jurnal Wave*, Vol. 1 dari 2 Volume 12, No. 2, 2018.
- [7] A. Ismail, A. Zubaydi, B. Piscesa, E. Panangian, R. Ariesta dan Tuswan, “A strenght analysis of conventional and sandwich plate deck using Finite Element Method,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol 1034, 2020.
- [8] J. Andric, S. Kitarovic, V. Radolovic dan P. Prebeg, “Structural analysis and design of a car carrier with composite sandwich deck panels,” *Ships and Offshore Structures*, 2019.
- [9] Tuswan, A. Zubaydi, A. Budipriyanto dan S. Sujiatanti, “Comparative study on ferry ro-ro’s car deck structural strength by means of application of sandwich materials,” dalam *The 3rd International Conference on Marine Technology vol. 1*, 2018.
- [10] A. Ismail, A. Zubaydi, B. Piscesa, E. Panangian, R. Ariesta dan Tuswan, “A comparative study of conventional and sandwich plate side-shell using finite element method,” dalam *2nd International Conference on Mechanical Engineering Research and Application (iCOMERA 2020)*, 2020.
- [11] A. Ismail, A. Zubaydi, B. Piscesa, Tuswan dan R. C. Ariesta, “Study of Sandwich Panel Application On Side Hull Of Crude Oil Tanker,” *Journal of Applied Engineering Science*, 2021.
- [12] Tuswan, K. Abdullah, A. Zubaydi dan A. Budipriyanto, “Finite-element analysis for structural strength assessment of marine sandwich material on ship side-shell structure,” dalam *Materials Today: Proceedings*, vol. 13, no. 1, 2019.
- [13] M. Brooking dan S. Kennedy, “The performance, safety and production benefits of SPS structures for double hull tankers,” dalam *Proceedings of the RINA Conference on Double Hull Tankers*, London, UK, 2004.
- [14] T. J. Grafton dan J. R. Weitzenboeck, “Steel-concrete-steel sandwich structures in ship and offshore engineering,” dalam *Advance Marine Structure Proceedings of the 3rd International Conference on Marine Structures*, 2011.
- [15] K. Ramakrishnan dan P. Kumar, “Application of Sandwich Plate System for Ship Structures,” *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, pp. 83-90, 2016.