

## **APLIKASI SANDWICH PLATE SYSTEM BERBAHAN CORE LIMBAH CANGKANG KERANG PADA GELADAK KAPAL**

*Aplication of Sandwich Plate System with Core from Waste Clam Shell in Ship Deck*

**Kharis Abdullah<sup>1</sup>, Achmad Zubaydi<sup>1</sup>, Agung Budipriyanto<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Produksi dan Material Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

<sup>2</sup>Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Email: abdullah.kharis@gmail.com

Diterima: 31 Mei 2018; Direvisi: 16 Juli 2018; Disetujui: 28 September 2018

### **Abstrak**

Perkembangan teknologi dalam bidang material dan konstruksi menghasilkan banyak inovasi, salah satunya adalah *sandwich plate system*. *Sandwich plate system* merupakan sebuah material yang dibentuk oleh dua material yang berbeda menjadi ke dalam satu layer. *Sandwich plate system* terdiri dari *face* berupa plat dan *core* berupa komposit. Cangkang kerang merupakan salah satu bahan limbah yang dapat digunakan sebagai *filler* pada *core*. Material komposit yang digunakan sebagai *core* merupakan campuran antara serbuk cangkang kerang sebagai *filler* dan resin sebagai matrix. Perpaduan antara serbuk cangkang kerang dan resin, menghasilkan material komposit yang kuat. *Sandwich plate system* dengan menggunakan *core* dari serbuk cangkang kerang dan resin menghasilkan kekuatan yang baik dan dapat diaplikasikan pada konstruksi geladak kapal. Material dengan menggunakan *filler* serbuk cangkang kerang sebesar 20% dari berat resin menghasilkan tegangan maksimum pada geladak sebesar 53.32 N/mm<sup>2</sup>, dan 53.20 N/mm<sup>2</sup> dengan *filler* sebesar 30% dari berat resin.

**Kata kunci:** *sandwich*, cangkang kerang, kapal, kekuatan

### **Abstract**

*The development of technology in the field of materials and construction produces many innovations, one of them is a sandwich plate system. A sandwich plate system is a construction element composed of two or more material layers. The sandwich plate system consists of two faces made of steel plate and a core made of composite material. Sandwich plate system consists of face that from plate and core form composite. Clam shells are one of the waste materials that can be used as filler on the core. The composite material part is made of a mixture of clam shell powder as a core, and resin as a matrix. The combination of clam shells powder and resin, produces strong composite materials. Sandwich plate system using core from clam shells powder and resin produce good strength and can use in ship deck. The material using 20% clam shells powder as filler of the resin weight has maximum stress 53.32 N/mm<sup>2</sup> on the deck and 53.20 N/mm<sup>2</sup> for 30% of filler by weight of the resin.*

**Keywords:** *sandwich, clam shell, ship, strength*

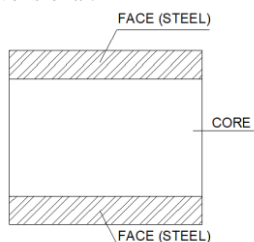
## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang pesat dan semakin maju, menuntut banyak tantangan dan inovasi dalam berbagai bidang, salah satunya adalah bidang material dan konstruksi. *Sandwich plate system* merupakan salah satu inovasi di dalam bidang teknologi material dan konstruksi. *Sandwich plate system* adalah sebuah material komposit yang dibentuk oleh dua material yang berbeda menjadi ke dalam satu layer. *Sandwich* terdiri dari dua material muka (*face*) yang dipisahkan oleh inti (*core*) (Sandcore, 2010). *Sandwich plate system* terdiri dari dua buah *face* berupa plat dan sebuah *core*, Gambar 1. Terdapat beberapa struktur *sandwich* yang banyak dikembangkan yaitu *all metal sandwich structures*, *hybrid metal sandwich structure* dan *composite material sandwich structure*.

Adapun beberapa keuntungan dalam pemakaian *sandwich* (Kujala dan Klanac, 2005) yaitu:

1. Rasio kekakuan terhadap berat yang tinggi, membuatnya sesuai untuk desain ringan.
2. Ketahanan tekuk yang baik dibandingkan dengan struktur plat orthotropik tipis.
3. Sifat *crashworthiness* yang baik.
4. Mengurangi ketinggian konstruksi (dibandingkan dengan plat berpenegar) untuk meningkatkan pemanfaatan ruang kosong.

Beberapa penelitian lain menerangkan bahwa keuntungan dari pemakaian *sandwich* yaitu proses fabrikasi yang mudah (Ramakrishnan, 2016), desain yang simpel, pengurangan berat yang cukup signifikan hingga lebih dari 10% (Momcilovic dan Motok, 2009) dan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan konstruksi konvensional.



Gambar 1. *Sandwich plate*

Isu lingkungan yang sedang berkembang saat ini, menuntut para peneliti untuk mengembangkan material yang berasal dari bahan yang tidak digunakan lagi atau material limbah, *waste material* atau *green material* yang terdapat melimpah di lingkungan dan dapat terbarukan. Material limbah tersebut seperti cangkang kerang, cangkang telur, sekam, serbuk kayu, dan lain-lain. Kerang darah (*anadara granosa*)

merupakan salah satu jenis kerang yang dikonsumsi di Indonesia, produksi kerang darah pada tahun 2010 sebanyak 34.482 ton dan rata-rata tiap tahun naik sebanyak 5.18% selama sepuluh tahun dari tahun 2000 hingga 2010. (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2011). Cangkang kerang merupakan salah satu sumber Kalsium yang tinggi, lebih dari 97% dari kandungan cangkang kerang adalah Kalsium (Mustakimah, dkk., 2012).



Gambar 2. *Sandwich jenis hybrid*

Di dalam penelitian ini, *sandwich plate system* merupakan *hybrid metal sandwich structure*, dimana *face* berupa baja (*steel*) dan *core* berupa komposit, Gambar 2. Penelitian yang dilakukan oleh Iswidodo (2017) yaitu berupa *sandwich structure* dengan konfigurasi plat-resin, talc-plat, menghasilkan *sandwich plate* yang cukup kuat. Talc ( $\text{CaCO}_3$ ) merupakan isi (*filler*) resin/matrix yang digunakan untuk *core* dari *sandwich*. Penambahan  $\text{CaCO}_3$  sebagai *filler* dalam matrix/resin dapat menambah nilai dari *mechanical properties*, seperti kuat tarik yang meningkat, modulus dan lain-lain. (Doufnoune, dkk., 2003). Dalam makalah ini akan disajikan *sandwich plate* dengan konfigurasi *face* berupa plat baja, *core* berupa campuran resin-serbuk cangkang kerang, dengan presentase perbandingan serbuk cangkang kerang (*filler*) terhadap matrix (resin), serta aplikasi pada konstruksi geladak kapal.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan lanjutan penelitian yang dilakukan oleh Abdullah, dkk. (2017). Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian terhadap material *core sandwich* untuk mengetahui karakteristik dan material *properties*. Beberapa pengujian yang dilakukan pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada penelitian sebelumnya telah diteliti pengujian komposisi kimia dengan metode XRF, uji densitas, dan tensile test. Dimana hasil daripada pengujian XRF ini menunjukkan bahwa material cangkang kerang, mengandung lebih dari 87% adalah kalsium (Ca), 5.24% besi (Fe), 4 % Silica (Si), dan lain-lain terdiri dari senyawa Al, Sr, K, Ti, Mn. Hasil ini sesuai

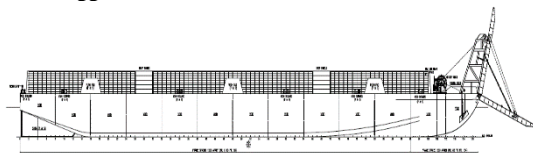
dengan penelitian yang dilakukan oleh Ginting, dkk. (2017), yang menyatakan bahwa senyawa yang terkandung dalam cangkang kerang sebagian besar adalah Kalsium (Ca). Pengujian densitas menunjukkan bahwa semakin banyak campuran serbuk cangkang kerang maka semakin naik nilai densitas *core*. *Tensile strength* semakin naik ketika penambahan serbuk cangkang kerang kurang dari 30%, dan nilai dari modulus elastisitas naik seiring penambahan serbuk cangkang kerang hingga komposisi serbuk kerang 35% dari berat resin, dan setelah itu turun.

Tabel 1. Jenis pengujian

Jenis Pengujian	Standar Pengujian
XRF	-
Density	ISO 845
Tensile	ASTM D 638
Hardness	DIN 53505
Compressive	ASTM D695
Flexural	ASTM C393

Pada makalah ini akan disajikan hasil pengujian yang dilakukan yaitu pengujian *hardness*, *compressive*, dan *flexural* serta simulasi pada kapal jenis tongkang. Analisa kekuatan daripada *sandwich* ini juga disimulasikan dalam *finite element method* dengan bantuan *software* untuk mengetahui seberapa kuat material ini ketika diaplikasikan dalam kapal. Pada penelitian ini, *sandwich* diterapkan pada tongkang batubara Gambar 3, dengan ukuran utama:

- Panjang = 155 meter
- Lebar = 45 meter
- Tinggi = 9.5 meter



Gambar 3. Kapal tampak samping

Menurut Det Norske Veritas (2012), ketebalan minimum plat *sandwich* adalah:

$$t_{1,2min} = 0.5(t_0 + \frac{k.L}{f_1^{0.5}}) \quad (1)$$

dimana:

L = panjang kapal

$f_1$  = material faktor Det Norske Veritas (DNV) = 1

$t_0$  dan k adalah parameter seperti tampak pada Tabel 2 dengan tebal *core* minimum adalah 15 mm

Tabel 2. Minimum *thickness* parameter

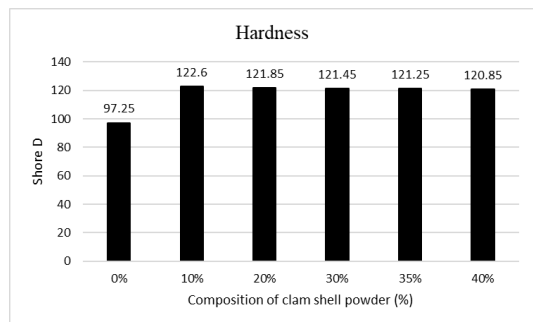
Items	$t_0$	k
Bottom/Inner bottom/Side	5.0	0.04
Weather deck	5.5	0.02
Bulkhead	5.0	0.03
Tween deck & superstructure ends and sides	5.0	0.01
Superstructure decks	5.0	0.00

Sesuai dengan aturan DNV, tebal minimum plat adalah 4.3 mm, pada penelitian ini diambil ketebalan plat adalah 6 mm, dengan ketebalan *core* 15 mm.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Uji *Hardness*

Pengujian kekerasan (*hardness*) dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan daripada *core* yang akan digunakan. Pengujian ini mengacu pada DIN 53505 shore D. Pengujian dengan komposisi *filler* 0%,10%, 20%, 30%, 35% dan 40%.



Gambar 4. *Hardness* dan komposisi

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa, nilai kekerasan pada *core* yang diberi *filler* serbuk kerang lebih tinggi daripada nilai kekerasan *core* dari resin tanpa *filler*. Nilai tertinggi pada persentase campuran 10% yaitu bernilai 122.6 kemudian turun hingga persentase 40% yang bernilai 120.85%. Ini membuktikan bahwa pada persentase 10% merupakan campuran maksimum yang dapat menghasilkan *core* dengan nilai kekerasan tertinggi. Pada penelitian lain menerangkan bahwa, penambahan *filler* dapat meningkatkan nilai dari kekerasan hingga batas maksimum (Yusof dan Afifi, 2014).

### Uji *Compressive*

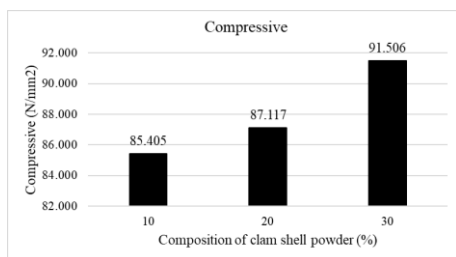
Uji *compressive* atau uji tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan material *core* ketika diberi beban tekan. Pengujian ini dilakukan dengan standar ASTM D695. Pada Gambar 5 dapat dilihat proses uji tekan

menggunakan alat *compressive testing* dimana spesimen berbentuk silinder dengan diameter 12.7 mm dan tinggi 25.4 mm.



Gambar 5. Uji *compressive*

Pada penelitian uji *compressive* atau uji tekan ini, komposisi *filler* serbuk cangkang kerang yang digunakan yaitu komposisi 10%, 20% dan 30%. Hasil uji tekan dapat dilihat pada Gambar 6, bahwa semakin banyak serbuk cangkang kerang maka nilai *compressive strength* semakin naik. Hasil uji *hardness* dan uji *compressive* berbeda grafiknya, pada uji *hardness* material dengan komposisi *filler* 10% menunjukkan nilai tertinggi, sedangkan pada uji *compressive* nilai tertinggi pada komposisi *filler* 30%. Hasil uji *compressive* juga menunjukkan bahwa semakin banyak *filler* maka semakin efektif transfer dan ikatan antara matrix (resin) dan *filler* (serbuk cangkang kerang). *Compressive strength* tergantung pada efektivitas transfer tegangan antara matriks dan *filler* (Yusof dan Afifi, 2013).

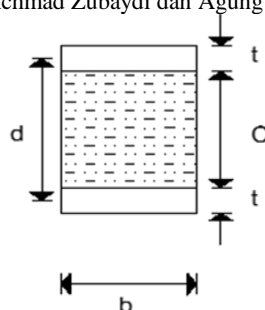


Gambar 6. *Compressive strenght*-komposisi

### Uji *Flexural*

Uji *Flexural* atau uji tekuk, dilakukan untuk mengetahui karakter *sandwich material* yang digunakan, pada Gambar 7 dapat dilihat ukuran spesimen, pengujian ini mengacu pada standar ASTM C393. Adapun ukuran spesimen untuk uji *flexural* ini yaitu:

- Panjang (L) : 200 mm
- Lebar (b) : 70 mm
- Tebal core (c) : 15 mm
- Tebal plat (t) : 6 mm



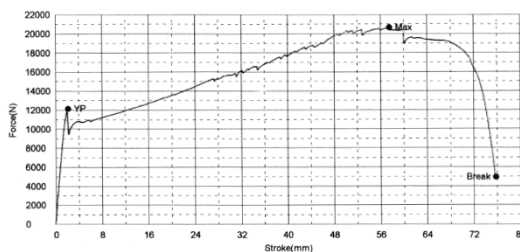
Gambar 7. Ukuran spesimen

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa *sandwich plate* yang telah diuji memiliki patahan *core* di tengah, ini menandakan bahwa material *core* ini cukup getas.



Gambar 8. *Sandwich* yang telah di uji

Pada Gambar 9 dapat dilihat kurva uji *flexural*, dimana pada saat titik YP adalah saat *core* mulai patah, dan kemudian grafik terus naik seiring kekuatan *face* (plat) hingga akhirnya mencapai titik maksimum.



Gambar 9. Kurva gaya dan *stroke*

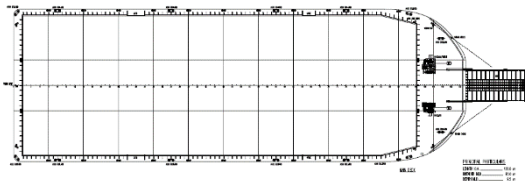
Pada penelitian ini, untuk pengujian *flexural* komposisi *filler* yang digunakan adalah 20% dan 30%. Adapun hasil dari pengujian ini yaitu untuk komposisi *filler* 20% hasil uji menunjukkan maksimum *deflection* 63.521 mm dan pada komposisi 30% memiliki maksimum *deflection* 60.02 mm.

Tabel 3. Hasil pengujian

Komposisi	Deflection (mm)
20%	63.521
30%	60.02

**Kekuatan**

Untuk mengetahui kekuatan konstruksi *sandwich plate* ini maka dilakukan simulasi dengan menggunakan *finite element analysis software*. Dimana konstruksi yang dianalisa adalah konstruksi geladak.



Gambar 10. Geladak

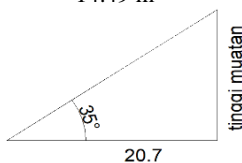
Di dalam penelitian ini, disimulasikan bahwa kapal sedang memuat batu bara, dimana kondisinya sebagai berikut:

1. Muatan batu bara umumnya memiliki “Sudut Runtuh” (*angle of repose*), ± 35° terhadap sisi miring dengan bidang datar.



Gambar 11. Sudut runtuh

2. Batu bara memiliki massa jenis 865 kg/m<sup>3</sup> (*sub-bituminous*).
3. Tinggi muatan =  $20.7 \times \tan 35^\circ$   
= 14.49 m



Gambar 12. Tinggi muatan

**Finite element model**

*Finite element method* atau metode elemen hingga merupakan suatu metode numerik untuk menyelesaikan berbagai masalah teknik (*engineering*) dan matematik fisik (Logan, 2017). Berbagai masalah dapat diselesaikan dengan metode ini seperti analisis struktur, transfer panas, aliran fluida, transportasi massa dan potensial elektromagnetik. Pada akhir ini, Sebagaimana sebutan elemen hingga, analisis metode elemen hingga didasarkan pada representasi badan

atau sistem struktur yang dirakit dari elemen-elemen badan/sistem. Elemen-elemen ini membentuk sistem jaringan elemen melalui hubungan/sambungan di titik-titik nodal elemen. Umumnya fungsi perpindahan yang ditetapkan bagi pendekatan variasi perpindahan di setiap elemen adalah fungsi polinomial. Persamaan kesetimbangan bagi elemen didapat dari prinsip energi potensial minimum.

Pemodelan dalam *software Finite Element Analysis (FEA)* secara umum ada beberapa tahapan yaitu:

1. Pemilihan tipe analisa  
Tipe analisa pada penelitian ini adalah analisa struktur.
2. Pemilihan tipe elemen  
Pada penelitian ini, tipe elemen yang digunakan adalah:
  - *Core* adalah *solid elements*
  - *Top* dan *bottom plate* adalah *shell elements*
  - *Girder* dan *stiffener* menggunakan *beam elements*
 Penggunaan tipe elemen ini sesuai dengan anjuran dari DNV.
3. Penentuan *material properties*  
*Material properties* daripada plat yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. *Material properties* plat

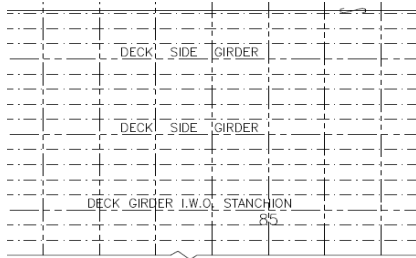
Jenis baja	A36
Densitas	7800 kg/m <sup>3</sup>
Modulus	200 GPa
Poisson ratio	0.26

Tabel 5. *Material properties* core

<b>Komposisi</b>	<b>20%</b>
Densitas	1329 kg/m <sup>3</sup>
Modulus	249.35 MPa
Poisson ratio	0.2067
<b>Komposisi</b>	<b>30%</b>
Densitas	1465 kg/m <sup>3</sup>
Modulus	331.80 MPa
Poisson ratio	0.2081

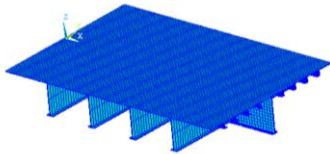
4. Modeling  
Pemodelan pada penelitian ini disimulasikan konstruksi geladak diambil satu panel, dengan beberapa jarak girder, dan pembujur. Ukuran panel model geladak ini berukuran 5 m x 7.5 m. Panel geladak ini diambil pada antara *frame* 80 hingga *frame* 85, dapat dilihat pada Gambar 14.

Aplikasi *Sandwich Plate System* Berbahan *Core* Limbah Cangkang Kerang pada Geladak Kapal (Kharis Abdullah, Achmad Zubaydi dan Agung Budipriyanto)



Gambar 13. Panel geladak

Pemodelan *finite element method* pada panel *sandwich* yang akan dianalisa dapat dilihat pada Gambar 14. Dimana pada gambar tersebut terlihat model yang telah di-*meshing* (proses pembagian objek benda menjadi beberapa bagian) sehingga terlihat elemen yang akan dianalisa.



Gambar 14 Modelling pada software FEA

5. Penentuan beban dan kondisi batas

Pada penelitian ini, kondisi beban yang dilami oleh panel *sandwich* ini adalah beban maksimum muatan penuh dimana untuk mendapatkan beban maksimum menggunakan persamaan seperti dibawah ini :

$$P = \frac{F}{A} \quad (2)$$

$$F = m \cdot a \quad (3)$$

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4)$$

dimana:

F = gaya (N)

A = luas alas (m<sup>2</sup>)

P = gaya Tekan (N/m<sup>2</sup>)

m = massa (kg)

a = percepatan, 9.81 m/s<sup>2</sup>

ρ = massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

v = volume (m<sup>3</sup>)

Dengan kondisi muatan penuh, dengan ketinggian muatan 14.49 m, diasumsikan luas penampang bawah pada ketinggian maksimum adalah 1 m<sup>2</sup>, maka:

$$P = 865 \times 14.49 \times 9.81$$

$$P = 122.957,0685 \text{ N/m}^2$$

Pada penelitian ini, kondisi batas diasumsikan jepit atau *clamped* di semua sisi panel merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Gopichand, dkk. (2013).

6. Hasil

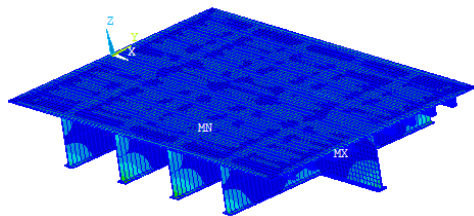
Adapun hasil daripada simulasi dengan *finite element software analysis* dapat dilihat di Tabel 6.

Tabel 6. Maksimum *stress von mises*

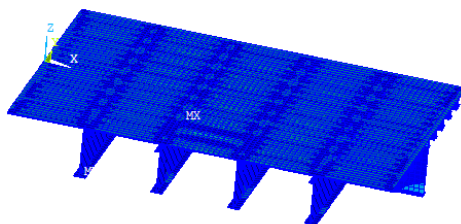
Konstruksi Geladak	Maksimum Stress (N/mm <sup>2</sup> )
Plat 24 mm	30.65
Sandwich A	53.31
Sandwich B	53.20

Keterangan :

- Tebal plat geladak awal adalah 24 mm.
- Plat geladak awal yaitu 24 mm, digantikan dengan *sandwich plate*, konstruksi pembujur dan *girder* sama ukuran dan jaraknya dengan konstruksi awal.
- *Sandwich A* merupakan *sandwich plate* dengan *core* yang merupakan campuran antara serbuk kerang sebagai *filler* terhadap resin sebanyak 20% terhadap berat resin.
- *Sandwich B* merupakan *sandwich plate* dengan *core* yang merupakan campuran antara serbuk kerang sebagai *filler* terhadap resin sebanyak 30% terhadap berat resin.



Gambar 15 Konstruksi geladak dengan plat 24 mm



Gambar 16 Konstruksi geladak dengan *sandwich plate*

Pada *rule* Biro Klasifikasi Indonesia Volume II *Rules for Hull* (2009) Section 2.B.1, menyebutkan bahwa “kekuatan normal baja konstruksi lambung adalah suatu baja konstruksi lambung dengan nilai

luluh atas minimum  $R_{eH}$  235 N/mm<sup>2</sup> dan kuat tarik  $R_m$  400 – 520 N/mm<sup>2</sup>.

Dapat dilihat pada Tabel 6, semua konstruksi baik konstruksi awal dan konstruksi plat dengan model *sandwich plate* memiliki tegangan maksimum dibawah 235 N/mm<sup>2</sup>.

Dengan penggantian plat geladak dari tebal awal 24 mm dengan massa jenis plat 7800kg/m<sup>3</sup>, menjadi *sandwich plate* dengan tebal 27 mm yang memiliki massa jenis 4229.69 kg/m<sup>3</sup> untuk *filler* serbuk cangkang kerang 20% dan 4302.32 kg/m<sup>3</sup> untuk *filler* serbuk cangkang kerang 30% terhadap berat resin. Adanya reduksi massa jenis maka pada kondisi konstruksi geladak dengan penegar dan pembujur yang sama, penggunaan *sandwich plate* dapat mengurangi berat konstruksi kapal.

## KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan serangkaian pengujian terhadap material *sandwich plate system*. Inovasi *core* dengan memanfaatkan limbah cangkang sebagai campuran terhadap matrix/resin telah dilakukan.

Hasil riset ini menghasilkan temuan sebagai berikut:

1. Berdasarkan uji kekerasan (*hardness test*) pada *core* menunjukkan, bahwa dengan penambahan *filler* menyebabkan kekerasan semakin meningkat. *Core* dengan *filler* 10% memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi yaitu 112.6 D.
2. Berdasarkan hasil uji tekan (*compressive test*) yang dilakukan, dengan bertambahnya *filler* meningkatkan kekuatan tekan *core*.
3. Pada uji tekuk (*flexural test*) menunjukkan, kerusakan awal terjadi pada *core* tepat tegak lurus dimana posisi beban berada, kemudian semakin banyak patahan-patahan yang terjadi akibat beban tekuk pada material *sandwich*. Patahan yang terjadi menunjukkan bahwa material *core* lebih getas dibandingkan material *face*. Maksimum defleksi yang terjadi menunjukkan bahwa persentase *filler* 20% memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan komposisi lain.
4. Hasil analisa dengan metode elemen hingga menunjukkan kekuatan (*strength*) geladak dengan menggunakan *sandwich* memiliki nilai maksimum *stress* 53.31 N/mm<sup>2</sup> untuk *filler* serbuk cangkang kerang 20% dan 53.20 N/mm<sup>2</sup> untuk *filler* serbuk cangkang kerang 30%.

Penggunaan serbuk cangkang kerang sebagai *filler* pada *core sandwich* dapat dilakukan dan menjadi salah satu alternatif pemanfaatan material limbah. Pada *sandwich* dengan *filler* 20% menghasilkan material yang memiliki *mechanical properties* lebih tinggi dibandingkan dengan komposisi lainnya. *Sandwich plate system* dengan menggunakan *core* serbuk cangkang kerang dapat mengurangi berat konstruksi kapal yang cukup signifikan dengan mengganti plat geladak eksisting menjadi plat geladak model *sandwich*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., Zubaydi, A. dan Budipriyanto, A. (2017). Development of Sandwich Panel with Core from Clamshell Powder for Ship Structure, *Proceeding Seminar on Marine Technology (SENTA) 53: II-59 – II-67*.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2009). *Rules for Hull, Volume II*. BKI. Indonesia.
- Det Norske Veritas. (2012). *Steel Sandwich Panel Construction, Classification Notes, No.30.11*. DNV. Norwegia.
- Doufnoune, R., Chebira, F. dan Haddaoui, N. (2003). Effect of Titanate Coupling Agent on the Mechanical Properties of Calcium Carbonate Filled Polypropylene. *International Journal of Polymeric Materials and Biomaterials*: 967-984.
- Gopichand, A., Khirshnaiah, G., Krishnaveni, D. dan Reddy, D. (2013). Numerical Simulation of Steel Sandwich Plate System (SPS) Floor. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 2 (11): 6300-6308.
- Ginting, M. H. S., Lubis, M., Suwito, F. dan Tanujaya, B. (2017). Effect of Clam Shell Powder (Anadara granosa) Composition on Physical and Mechanical Properties of Polyester Resin Particle Board Products. *Asian Journal of Chemistry*, Vol. 29(1): 81-85.
- Iswidodo, Windra. (2017). *Identifikasi Multiple Damages Struktur Kapal Berbahan Sandwich Panel Menggunakan Respon Getaran*. Skripsi. Institut Teknologi Surabaya. Surabaya
- Logan, Daryl L. (2007). *A First Course in the Finite Element Method*. USA: Thomson Canada Limited,.
- Mustakimah, M., Suzanna, Y. dan Saikat, M. (2012). Decompositon Study of Calcium Carbonate in

Aplikasi *Sandwich Plate System* Berbahan *Core* Limbah Cangkang Kerang pada Geladak Kapal  
(Kharis Abdullah, Achmad Zubaydi dan Agung Budipriyanto)

- Cockle Shell. *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 7 (1): 1-10.
- Momcilovic, N. dan Motok, M. (2009). Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of application of Sandwich Plate System. *FME Transactions*, Vol. 37: 123-128.
- Kujala, Penttl dan Klanac, Alan. (2005). Steel Sandwich Panels in Marine Applications. *Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike*, Vol. 56: 305-314.
- Ramakrishnan, K. V. dan Kumar, P. G. S. (2016). Application of Sandwich Plate System for Ship Structures. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*: 83-90.
- Sandcore. (2010). *Best Practice Guide for Sandwich Structures in Marine Applications*. New Rail, University of Newcastel upon Tyne. Australia.
- Yusof, M. dan Afifi, A. M. (2013). Effect of Filler Size on Flexural Properties of Calcium Carbonate Derived from Clam Shell Filled with Unsaturated Polyester Composites. *Key Engineering Materials*, Vol. 594-595: 57-62.
- Yusof, M. dan Afifi, A. M. (2014). Hardness and Compressive Properties of Calcium Carbonate Derived from Clam Shell Filled Unsaturated Polyester Composites. *Materials Research Innovations*, Vol. 18: S6-291 – S6-294.