

IDENTIFIKASI *SANDWICH* PANEL PADA STRUKTUR GELADAK KAPAL

Windra Iswidodo¹, Auliana Diah Wilujeng², Ahmad Mustofa³

ABSTRAK Pengembangan bahan sandwich untuk struktur kapal ditujukan terutama untuk mengurangi bobot kapal sehingga muatan kapal dapat meningkat. Makalah ini membahas pengembangan bahan inti sandwich yang sesuai untuk struktur kapal. Bahan inti terbuat dari resin sintesis dan talak; Persentase talak dengan berat total yang diteliti adalah 10 persen, 20 persen, 30 persen, dan 40 persen. Uji laboratorium yang disyaratkan oleh Lloyd's Register (LR) dan Det Norske Veritas (DNV) dilakukan pada bahan inti. Selain itu, sandwich panel terdiri dari kulit (*faceplate*) baja dan bahan inti yang dikembangkan diuji dengan menggunakan standar ASTM termasuk uji tarik, geser, dan lentur untuk mengetahui karakteristik material. Sandwich panel digunakan untuk mendesain geladak kendaraan pada kapal jenis ro-ro. Analisis geladak sandwich panel pada beban desain dengan menggunakan pendekatan elemen hingga dilakukan untuk memilih bahan core terbaik yang dikembangkan dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material sandwich panel yang terbuat dari bahan inti dengan kandungan talak 40 persen lebih baik dari komposisi yang lain. Selain itu, penggunaan sandwich panel mampu menghasilkan perubahan berat konstruksi sebesar 10,73 persen

KATA KUNCI Sandwich Panel, Synteticresin, Geladak Kapal

PENDAHULUAN Perkembangan material maju saat ini telah berkembang pesat, terutama perkembangan material komposit yang banyak diterapkan dalam berbagai bidang industri, termasuk industri perkapalan. *Intelligent Engineering*, menyatakan beberapa material maju yang mampu memberikan keunggulan telah banyak dikembangkan, seperti penggunaan SPS (*Sandwich Plate System*). Panel *sandwich* sebagai material komposit yang terdiri dari dua jenis material yang berbeda memerlukan metode khusus dalam pembuatannya.

¹ Dosen Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Negeri Madura

² Dosen Jurusan Teknik Mesin Alat Berat, Politeknik Negeri Madura

³ Dosen Jurusan Teknik Listrik Industri, Politeknik Negeri Madura

Email: iswidodo@poltera.ac.id¹, mustofaahmad@poltera.ac.id²,
auliana_dn@poltera.ac.id³

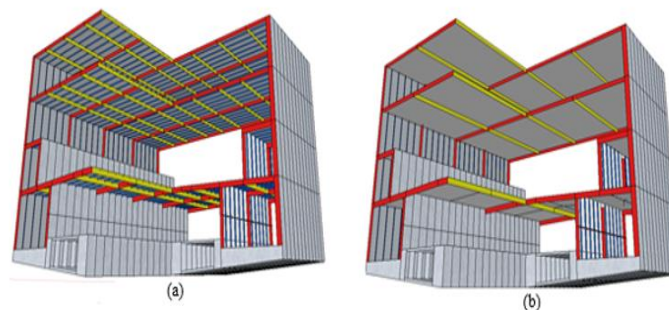
SPS merupakan material ringan dari struktur dua pelat logam yang dipisahkan oleh material inti *Polyurethane*. Pelat logam disatukan dengan parameter bar pada bagian tepi pelat. Lapisan *Polyurethane* diberikan dengan cara injeksi, sehingga dapat dikatakan material ini merupakan material komposit dalam bentuk Panel *sandwich*, yang terdiri dari dua jenis material yaitu logam dan non-logam. Jenis material non-logam menggunakan *polyurethane* elastomer cair yang berubah menjadi bentuk kaku dari proses reaktivitasnya. (Momcilovic & Motok, 2009).

Bahan sandwich adalah bahan komposit yang biasanya terdiri dari dua jenis bahan yang berbeda, yaitu, bahan logam dan non-logam. Menurut Utomo, dkk (2016), melakukan penelitian tentang pengembangan pelat *sandwich* yang dibuat menggunakan pelat baja sebagai *faceplates* dan bahan inti dengan material *Syntheticresin* sebagai material alternatif pada struktur kapal. Pada hasil penelitiannya menghasilkan pengurangan berat kapal kosong (LWT) sebesar 13 persen.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terkait dengan *syntheticresin* diperoleh bawasannya komposisi dari material inti adalah 50 persen resin dikomposisikan dengan talak 50 persen. Dengan hal tersebut, studi ini fokus pada pengembangan lebih lanjut bahan inti (*core material*) berbasis *syntheticresin* untuk struktur kapal. Ini bertujuan untuk menyelidiki kepadatan dan kekuatan pelat *sandwich* untuk komposisi material inti yang berbeda. Selain itu, efeknya pada tekanan yang dikembangkan pada *Sandwich Panel* yang diberi beban pada geladak kapal yang dirancang menggunakan struktur *Sandwich Panel*.

TINJAUAN PUSTAKA **Material Sandwich Panel pada Kapal**

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Utomo (2016), dilakukan analisis perubahan berat konstruksi pada kapal Ferry Ro-Ro di bagian *parallel middle body*. Dengan diaplikasikannya *sandwich panel* pada kapal, bentuk konstruksi kapal mengalami penyederhanaan. Penyederhanaan yang dimaksud adalah dihilangkannya *stiffner* dari desain kapal tersebut. Namun, perubahan ini tidak mengurangi kekuatan dari struktur tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 (a) Konstruksi kapal pelat baja konvensional, (b) Konstruksi kapal sandwich panel (Utomo, 2016)

Det Norske Veritas (DNV) menentukan ketebalan *face plate* dihitung dengan persamaan (1) sebagai berikut.

$$t_{1,2_min} = 0,5 \left(t_0 + \frac{k \cdot L}{f_1^{0,5}} \right) \quad (1)$$

dimana:

$t_{1,2}$ = Tebal minimum face plate, (mm)

L = Panjang konstruksi kapal, (m)

f_1 = faktor material; 1,00 (NV-NS : $\sigma_y \geq 235$ Mpa)

t_0 dan k parameter ketebalan minimum yang ditabulasikan dalam Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1 Parameter ketebalan minimum

Item	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

Ketebalan minimum yang didapatkan ditambahkan dengan ketebalan korosi, menggunakan persamaan (2) sebagai berikut.

$$t_{1,2_gross_required} = t_{1,2_min} + t_k \quad (2)$$

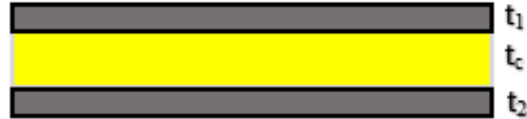
Dimana nilai t_k , ditentukan berdasarkan dari bagian struktural pada kapal dan aplikasi kapal, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2 Ketebalan korosi, t_k

Member of Structural	Exposure	BC & DC	Tanker
Upper deck panel (Weather deck)	Atmosphere	2,0	1,0
	Cargo hold	2,0	3,0
	Ballast	3,0	3,0
	Cargo hold	3,5	3,0
Inner bottom & hopper tank panel in cargo area	Ballast	1,5	1,0 / 1,5
	Fuel tank	1,0	-
	Void space	1,0	0,5
Inner bottom outside cargo area	Engine room	1,0	0,5
	Void space	0,5	0,5
Internal car decks and ramps	Upper plate	2,0	-
	Lower plate	0,5	-
Weather deck Application	Hatch	cover	t_k(mm)
Bulk carriers, or carriers & combination	Weather face		1,5
	Cargo		1
	Internal Space		0,5
Cellular cargo holds intended for containers	Weather face or Cargo		0,5
	Internal Space		0,5
All other ship types	Weather face or Cargo		1
	Internal Space		0,5

Ketebalan *core material* ditentukan berdasarkan metode *trial and error*

pada nilai ketebalan core *material*. Simbol ketebalan untuk *Sandwich Panel* dijelaskan dalam bentuk (t_1-t_2), sebagai contoh (4-20-4) yang diartikan bahwa ketebalan *top plate* 4 mm, *bottom plate* 4 mm dan lapisan material inti adalah 20 mm.



Gambar 2 Simbol ketebalan *Sandwich Panel*

Kriteria *Sandwich Panel*

DNV memberikan standarisasi dan nilai kriteria pengujian, yang ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3 Standarisasi pengujian dan kriteria

<i>Property</i>	<i>Test Standard</i>	<i>Spec</i>	<i>Acceptance criteria</i>
			DNV
Density	ISO 845	Min. 5	>1.000 kg/m ³
Tensile Strength	ISO 527		> 5 Mpa
Tensile Modulus	ASTM	Min. 5	> 200 Mpa
Elongation at break	D412		10 persen-20 persen
Sheer Modulus	ASTM 273 -01	C Min. 5	≥ 120 Mpa

METODE PENELITIAN

Identifikasi Komposisi pada Material Inti

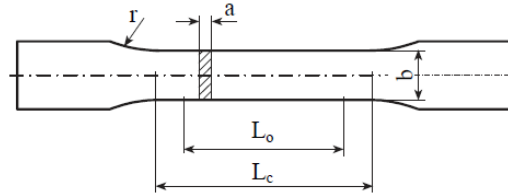
Sebelum dilakukan percobaan *Sandwich Panel*, perlu dibuat dan diuji lebih awal pada bahan inti (*core*). Tujuan pertama dari penelitian ini adalah mengembangkan bahan inti dari *Sandwich Panel*. Proses dimulai dari identifikasi bahan inti yang terdiri dari empat variasi komposisi campuran *syntethicresin* dan talak dengan perbandingan berat 10 persen, 20 persen, 30 persen, dan 40 persen dari berat *core*. Selanjutnya penambahan katalis sebagai bahan pengering dari *syntethicresin*.

Kegagalan pada proses percetakan *Sandwich Panel* terjadi pada proses cetak dan pemotongan untuk persiapan pembuatan spesimen uji. Oleh sebab itu, temperatur pada saat proses reaksi material inti harus dipantau agar tidak terjadi kegagalan dalam proses fabrikasi. Berdasarkan aturan yang telah ditetapkan oleh DNV, material inti (*core*) memiliki syarat minimal densitas sebesar 1000 kg/m³. Kemudian, bisa dilanjutkan pada tahap berikutnya yaitu proses pembuatan material *Sandwich Panel*. Penelitian yang dilakukan ini tahap pengujian karakteristik material inti mengikuti aturan dari ASTM D412 untuk pengujian tarik pada material inti. Sedangkan pengujian geser material inti merujuk pada aturan ASTM C273. Setelah mengetahui karakteristik dari material inti, maka langkah selanjutnya adalah pengujian pada material sandwich panel untuk

mengetahui kekuatan dan defleksi dari *Sandwich Panel* dengan mengikuti aturan dari ASTM C393.

Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Berdasarkan ASTM D412, pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik, modulus tarik dan elongasi material serta mendapatkan nilai Modulus elastisitas (E), Modulus geser (G) dan Poisson rasio (ν) yang digunakan untuk perancangan dan identifikasi material dalam bentuk *Sandwich Panel*. Bentuk dan ukuran benda uji terlihat pada Gambar 3 berikut ini.

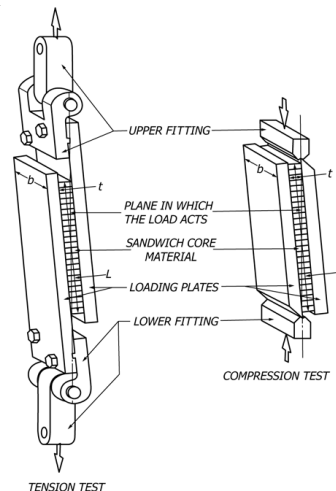


Gambar 3 Standarisasi spesimen uji tarik

Pengujian Geser (*Sheer Test*)

Pengujian geser dilakukan pada material *Sandwich Panel* untuk mengetahui kekuatan rekat pada material komposit *syntheticresin* dengan *faceplate*. Hal yang umum logam diaplikasikan dalam desain teknik dengan pembebanan geser pada baut, paku keling dan pasak mendapat beban sedemikian rupa sehingga akan membelah komponen tersebut menjadi dua bagian. Kekuatan geser suatu bahan adalah tegangan yang menyebabkan komponen rusak atau patah akibat beban geser. (Budinski,1999)

Berdasarkan ASTM C273 Spesimen benda uji untuk pengujian geser pada material *Sandwich Panel* dengan lebar spesimen tidak kurang dari 50 mm dan panjang spesimen uji tidak kurang 12 kali tebal material inti (core). Pengujian geser dapat dilakukan pada mesin uji tarik menggunakan peralatan tambahan khusus dan bentuk spesimen dibuat sesuai ketentuan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4 Spesimen pengujian geser dan Metode Pengujian Geser

Tegangan geser *core* pada material *Sandwich Panel* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\tau = \frac{P}{Lb} \quad (5)$$

dengan modulus geser *core* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$G = \frac{S\tau}{Lb} \quad (6)$$

dimana:

τ = tegangan geser *core*, (MPa)

G = Modulus geser *core*, (MPa)

P = beban pada spesimen, (N)

S = $\Delta P / \Delta u$ load deflection, (mm)

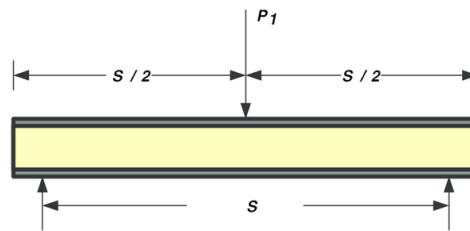
u = displacement dari pelat, (mm)

b = lebar *sandwich*, (mm)

L = panjang *sandwich*, (mm)

Pengujian Lentur (*Bending Test*)

Pengujian lentur dilakukan pada spesimen *Sandwich Panel* untuk mengetahui kondisi material terhadap pembebanan lentur berdasarkan nilai tegangan lentur dan defleksi yang terjadi. Berdasarkan ASTM C393 kondisi pada saat pengujian digambarkan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Titik pembebanan pada pengujian lentur

Dengan tegangan lentur, midspan loading, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$\sigma_{lt} = \frac{PL}{2t(d+c)t} \quad (7)$$

Defleksi atau lendutan spesimen dihitung berdasarkan persamaan berikut

$$\Delta = \frac{PL^3}{48D} + \frac{PL}{4U} \quad (8)$$

Dengan nilai kekakuan lentur untuk lapisan luar yang sama, dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$D = \frac{E(d^3 - c^3)b}{12} \quad (9)$$

τ = tegangan geser *core*, (MPa)

P = beban, (N)

- d = ketebalan *sandwich*, (mm)
 c = ketebalan lapisan *core*, (mm)
 b = lebar *sandwich*, (mm)
 L = panjang bentang, (mm)
 G = modulus geser inti, (MPa)
 E = modulus elastisitas lapisan baja, lihat (E_f), (MPa)
 D = kekakuan lentur panel, (N.mm²)
 U = $\frac{G(d+c)^2 b}{4c}$, (N)

HASIL DAN PEMBAHASAN Ketebalan *Sandwich Panel*

Berdasarkan persamaan (1), (2) dan (3) ketebalan setiap lapisan dalam *Sandwich Panel* diperhitungkan. Kalkulasi ketebalan mengacu pada data konstruksi kapal. Pada bagian lapisan *faceplate* yang terdiri dari *top plate* dan *bottom plate* diperoleh ketebalan pelat baja yang digunakan untuk posisi geladak atas, geladak navigasi, geladak penumpang, dan geladak dasar ganda adalah 4 mm untuk t_1 dan t_2 , sedangkan pada posisi geladak kendaraan ketebalan pelat yang digunakan adalah 6 mm untuk t_1 dan t_2 . Posisi geladak kendaraan memiliki ketebalan *faceplate* lebih tebal dikarenakan faktor posisi pelat yang memiliki tingkat korosi lebih tinggi, dengan nilai penambahan ketebalan korosi (t_k) sebesar 2 mm. Berikut ini dalam **Tabel 5** merupakan hasil kalkulasi dari persamaan (1), (2) dan (3).

Tabel 5 Hasil ketebalan *Sandwich Panel*

<i>Member</i>	<i>Sandwich Panel thicknees</i>
	4-20-4
<i>Top Deck, Nav. Deck, Pass. Deck, Crew Deck, Double bottom</i>	4-25-4
	4-30-4
	4-35-4
	6-20-6
<i>Car Deck</i>	6-25-6
	6-30-6
	6-35-6

Keseluruhan ketebalan *core* yang diperoleh memiliki nilai indeks R kurang dari 1 yang diperoleh dari metode *trial and error* pada nilai t_c yang merupakan ketebalan *core material*. Namun tebal optimum belum diketahui dari pembebanan langsung yang memberikan output distribusi tegangan dan deformasi struktur.

Kekuatan Tarik Material Inti

Pengujian tarik pada material inti dilakukan untuk mendapatkan hasil dari karakteristik material inti *Sandwich Panel* sehingga dari perbedaan jenis komposisi material dapat diketahui nilai kekuatan tarik yang paling baik berdasarkan ketentuan dari ASTM D412.

Tabel 7 Nilai kekuatan tarik setiap komposisi material inti

Spesimen	<i>Tesile Strenght</i> (Mpa)	<i>Tensile Modulus</i> (Mpa)
<i>Core Material A</i>	22,83	311,07
<i>Core Material B</i>	21,75	405,51
<i>Core Material C</i>	18,82	419,66
<i>Core Material D</i>	18,84	351,22

Tabel 7 Menunjukkan bahwa pada setiap komposisi material inti dari penggunaan *syntheticresin* dapat memenuhi kriteria nilai kekuatan tarik yang diberikan oleh Llyod's Register dan Det Norske Veritas, sehingga semua komposisi dapat diaplikasikan pada material inti dari *Sandwich Panel*.

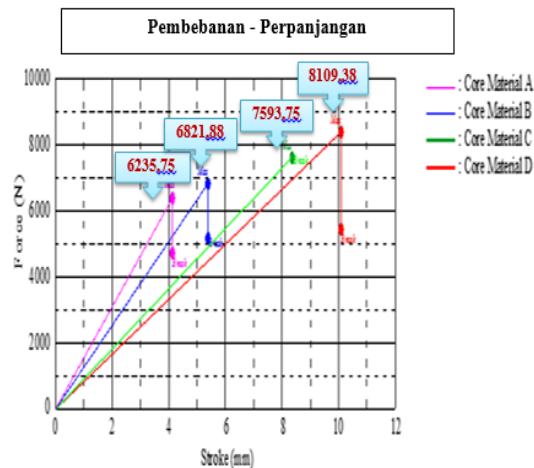


Gambar 6 Uji kekuatan tarik

Perbedaan karakteristik material pada setiap komposisi menghasilkan bahwa komposisi *syntheticresin core material A* dapat diaplikasikan pada material Sandwich Panel karena memiliki nilai kekuatan tarik dan modulus lebih baik.

Kekuatan Geser Material Inti

Identifikasi pada material inti dilakukan dengan mengetahui kekuatan kerekatan antara material inti dengan *faceplate*. Gambar berikut ini menunjukkan grafik hubungan anatar pembebenan dengan perpanjangan material inti setelah dilakukan pengujian kekuatan geser.



Gambar 7 Grafik hubungan pembebanan dengan perpanjangan *core material*

Pada Gambar 7. Menunjukkan bahwa *core material D* memiliki nilai beban paling tinggi 8109,38 N dengan perpanjangan sebesar 10,35 mm. Dengan demikian *core material D* memiliki tingkat kerekatan terhadap *faceplate* lebih baik dibandingkan dengan komposisi lain karena faktor jumlah komposisi talak pada material komposit tersebut lebih tinggi.



Gambar 8 Uji geser *Sandwich Panel*

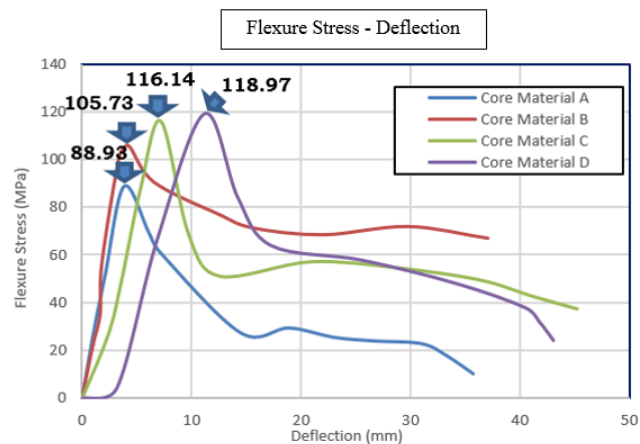
Uji geser dilakukan untuk mengetahui tingkat kerekatan material inti dengan *faceplate*. Gambar 8 menunjukkan uji geser yang dilakukan pada *Sandwich Panel*, dengan menggunakan alat bantu untuk menjepit *faceplate* pada *grip* mesin uji tarik.

Kekuatan Lentur Sandwich Panel

Setelah dilakukan identifikasi pada material inti dengan melakukan pengujian pada densitas, kekuatan tarik, serta kekuatan geser pada *faceplate*, sehingga dapat dilakukan identifikasi pada *Sandwich Panel* dengan memberikan beban pada material tersebut hingga mengalami kerusakan. Gambar 9 menunjukkan *Sandwich Panel* dilakukan uji lentur untuk mengetahui defleksi pada material

Gambar 9 Uji lentur *Sandwich Panel*

Berdasarkan acuan yang diberikan oleh ASTM C393, maka *Sandwich Panel* diberikan pengujian lentur. Gambar 10 berikut ini menunjukkan korelasi antara tegangan lentur dengan defleksi pada *Sandwich Panel*.

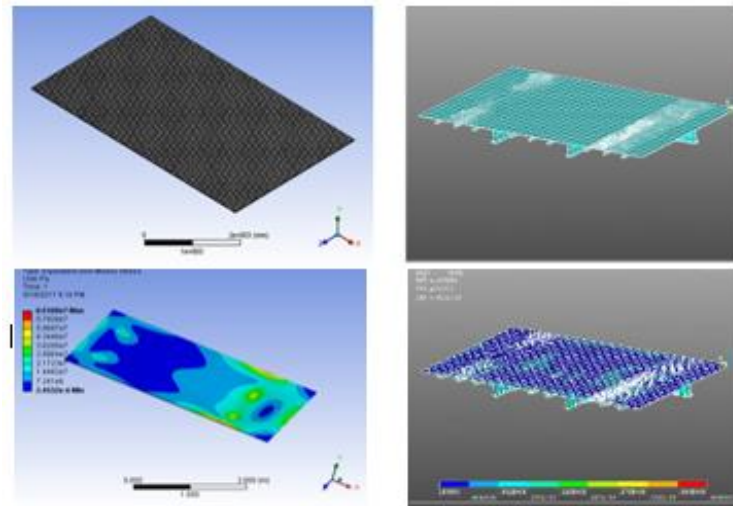
Gambar 10 Grafik hubungan tegangan lentur dengan defleksi *Sandwich Panel*

Dari grafik hubungan antara tegangan lentur dengan defleksi sesuai Gambar 10 menunjukkan bahwa komposisi material inti dengan talak yang lebih besar akan menghasilkan kekuatan yang lebih baik, artinya pada *core material D* memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan material lainnya yaitu 118,97 Mpa. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa kerusakan material inti akan terjadi pada saat *faceplate* pada *Sandwich Panel* mengalami kegagalan.

Pemodelan Struktur *Sandwich Panel*

Berdasarkan hasil dari pengujian *core material* dan identifikasi dari *Sandwich Panel*, maka selanjutnya akan disajikan analisis model secara numerik sebagai perbandingan dan validasi dari hasil pengujian material secara eksperimen. Dimana pemodelan yang dilakukan adalah dengan menggunakan *Finite Element Analysis* dengan bantuan perangkat lunak. Dimensi pemodelan yang dilakukan adalah 6000 x 3500 mm pada lokasi geladak kendaraan dengan menggunakan struktur material *Sandwich Panel* dan sistem konstruksi konvensional pelat baja. dimana ukuran tersebut adalah ukuran dari jarak gading besar pada kapal Ro-Ro 750 GT.

Pemodelan yang dilakukan dengan membandingkan antara *Sandwich Panel* dengan sistem konstruksi geladak kendaraan konvensional. Hal ini bertujuan sebagai verifikasi hasil pemodelan pada struktur *Sandwich Panel* dapat menggantikan sistem konstruksi konvensional. Pada Gambar 11 berikut adalah hasil pemodelan struktur pada *Sandwich Panel* dan sistem konstruksi konvensional dengan menggunakan metode *Finite Elemen Analysis*.



Gambar 11 *Finite elemen model* sandwich panel dengan geladak konvensional

Dari Gambar 11 dijelaskan langkah awal pemodelan adalah dengan desain geladak kapal dengan ukuran 6 x 3,5 meter sebagai pemodelan, Gambar 10a dan 10b adalah *messing* model. Kemudian selanjutnya diberi beban ilustrasi pembebanan berdasarkan SNI 1725:2016 pada roda depan adalah 34 kN dan roda belakang 66 kN dengan total beban 100 kN pada kondisi jepit pada setiap sisi model (Gambar 10c dan 10d). Pemodelan yang dilakukan pada geladak kendaraan kapal Ro-Ro, dimulai dari identifikasi pembebanan pada model geladak kendaraan yang sesuai dengan luasan kontak roda depan dan roda belakang dari truk dengan ukuran sedang. Sehingga, didapat nilai stress pada masing-masing model *Sandwich Panel* dan struktur konvensional pelat baja seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8 berikut ini.

Tabel 8 Perbandingan nilai tegangan lentur *sandwich panel* dengan konstruksi konvensional

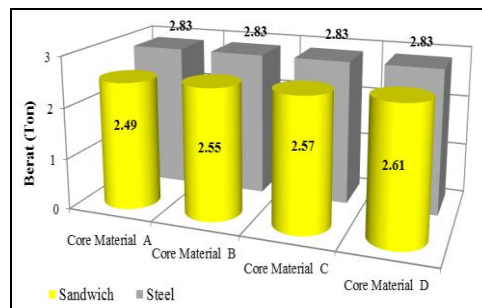
Spesimen	<i>Max Bending Stress (Mpa)</i>	<i>Ult. Stress (Mpa)</i>	<i>Stress Ratio</i>
<i>Core Material A</i>	65,52	88,93	0,74
<i>Core Material B</i>	65,15	105,73	0,62
<i>Core Material C</i>	64,92	116,14	0,56
<i>Core Material D</i>	64,82	118,97	0,54
Spesimen	<i>Max Bending Stress (Mpa)</i>	<i>Ult. Stress (Mpa)</i>	<i>Stress Ratio</i>
Plat Konvensional	81,81	235	0,35

Pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa setiap jenis core material memiliki nilai tegangan lentur yang berbeda, pada *core material D* memiliki nilai paling rendah diantara jenis *core material* lainnya yaitu 64,82 MPa. Nilai maksimum tegangan lentur masih memenuhi nilai tegangan batas dari hasil pengujian lentur yang telah dilakukan sehingga dari tabel tersebut didapat nilai ratio pada tegangan dengan nilai 0,54. Ratio tegangan didapat dari pembagian antara nilai maksimum tegangan lentur dengan tegangan batas (*ultimate*).

Analisis perubahan berat konstruksi kapal dilakukan pada model analisis numerik yang telah dilakukan pada pembahasan sebelumnya dengan dimensi model adalah 6000 x 3500 mm. Hasil perhitungan berat dari setiap jenis material inti ditunjukkan pada Tabel 9 yang dibandingkan dengan berat model konstruksi konvensional.

Tabel 9 Berat konstruksi sandwich panel dengan pelat konvensional

Jenis material inti	Berat konstruksi		
	<i>Sandwich panel</i>	<i>Steel</i>	persen
<i>Core Material A</i>	2,49	2,83	-13,49
<i>Core Material B</i>	2,55	2,83	-11,01
<i>Core Material C</i>	2,57	2,83	-9,98
<i>Core Material D</i>	2,61	2,83	-8,35
Rata-rata			-10,73



Gambar 12 Perbandingan berat konstruksi *Sandwich Panel* dengan pelat

Gambar 12 memberikan informasi perubahan berat konstruksi terjadi pada setiap jenis material inti dari *Sandwich Panel* yang memiliki perbedaan pada setiap besaran berat yang berkurang. Rata-rata pengurangan berat konstruksi yang terjadi sebesar 10,73 persen. Berdasarkan hal tersebut, penggunaan *Sandwich Panel* pada konstruksi geladak kendaraan mampu mereduksi berat dari konstruksi kapal dengan adanya kesederhanaan bentuk konstruksi yang dihasilkan. Namun, tidak mengurangi segi kekuatan struktur pelat tersebut.

SIMPULAN Berdasarkan identifikasi yang telah dilakukan maka didapatkan bahwa dengan melakukan pengujian tarik yang menghasilkan nilai kekuatan tarik paling tinggi 22,83 Mpa adalah *core material A* yang memiliki perbandingan campuran *syntheticresin* dengan talak adalah 90 persen:10 persen artinya bahwa tingkat elastisitas material sangat berpengaruh pada material inti. Selain itu material inti juga diberikan uji geser untuk mengetahui nilai kerekatan material inti dengan *faceplate* dengan nilai kekuatan geser adalah *core material D* memiliki nilai beban paling tinggi 8109,38 N artinya bahwa material ini mampu menahan kerekatan dengan *faceplate* sebesar beban maksimalnya. Pada pengujian terakhir adalah dengan melakukan pengujian lentur untuk mengetahui kekuatan material dalam menerima beban, didapatkan hasil *core material D* memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan material lainnya yaitu 118,97 Mpa. dapat disimpulkan bahwa kerusakan material inti akan terjadi pada saat *faceplate* pada *Sandwich Panel* mengalami kegagalan.

Dapat disimpulkan bahwa jenis material inti yang digunakan sebagai material dari *Sandwich Panel* adalah komposit *core material D*, dikarenakan memiliki karakteristik material yang lebih baik pada uji geser material dan uji lentur, sehingga dapat digunakan pada penggunaan *Sandwich Panel* pada struktur geladak kapal. Selain itu dengan penggunaan *core material D* mampu mereduksi berat konstruksi sebesar 10,73 persen pada model geladak kapal daerah *midship*. Penelitian selanjutnya yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan komposit *green material* (ampas tebu, cangkang telur, dan sabut kelapa) sebagai pengganti talak pada material inti dari *Sandwich Panel*.

- RUJUKAN** ASTM C 273. *Standard Test Method for Shear Properties of Sandwich Core Materials*. American National Standard Institute, United States.
- ASTM C 393. *Standard test method for flexural properties of sandwich constructions*. American National Standard Institute, United States.
- ASTM D 412-68. *Standard method of tension testing of vulcanized rubber*. American National Standard Institute, United States.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *Pembebanan untuk Jembatan*. SNI.1725:2016, BSN, Indonesia.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2006), *Mechanical and Thecnological Tests, Section 2*. BKI, Indonesia.
- Budinski, G dan Budinski, K. (1999). *Engineering Materials-properties and Selection. Sixth Edition*. New Jersey: Pretice Hall International.
- Det Norske Veritas. (2012). *Steel Sandwich panel Construction*. Classification notes, No.30.11. DNV, Norway
- ISO 845. (2006). *Cellular plastics and rubbers – determination of apparent density*. International Standard, Switzerland.
- Momcilovic.N., Motok.M. (2009), *Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of application of Sandwich Plate System*. Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbia.
- Llyod's Register. (2006). *Provosional rules for the application of sandwich panel construction to ship structure*. Llyod's Register, UK
- Utomo, E. Zubaydi, A. (2016). *Penggunaan Sandwich panel (Pelat Baja dan*

Synthetic Resin) Pada Konstruksi Kapal. Tesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Utomo, E, Zubaydi, A, Pratisna, P. (2016). Study of core material sandwich panel in ship construction. *Proceedings of the 2nd International Seminar on Science and Technology (ISST)*, Surabaya.