

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT SANDWICH DENGAN METODE *VACUUM INFUSION* SEBAGAI MATERIAL KAPAL

Rio Leksa Muchtiwibowo¹⁾, Parlindungan Manik¹⁾, Sarjito Jokosisworo¹⁾
Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia
Email: rileksa@gmail.com

ABSTRAK

Teknologi laminasi komposit dengan metode *vacuum infusion* dalam pembuatan pada galangan kapal *fiberglass* saat ini belum familiar digunakan dalam industri galangan kapal fiber di Indonesia. Penelitian ini bersifat eksperimen dan dilakukan untuk mendapatkan data analisa teknis dan ekonomis pembuatan komposit dengan metode *vacuum infusion*. Dari segi analisa teknis bertujuan membandingkan hasil kekuatan lentur dan dampak dari variasi komposit sandwich menggunakan *divinycell* H80 ketebalan 15 mm dan serat E-glass biaxial arah serat $\pm 45^0$ dengan berat 800 gr/m² dan arah serat 0,90⁰ dengan berat 815 gr/m², sehingga dapat diketahui variasi komposisi yang optimal. Sedangkan dari analisa ekonomis, membandingkan keuntungan dan manfaat perbandingan dari komposit sandwich dengan komposit biasa. Pembuatan komposit sandwich dengan proses *vacuum infusion* dengan fraksi berat 30% matrik vinylester dan 70% serat E-Glass tipe biaxial dengan empat variasi komposisi arah serat. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor komposisi lamina dan arah serat sangat berpengaruh dalam menentukan kuat lentur, tetapi tidak dengan kuat dampak, meskipun apabila dirata-rata variasi kedua memiliki hasil terbesar dengan energy dampak sebesar 85,4 Joule dan nilai ketangguhan dampak sebesar 0,033 J/mm². Hasil uji lentur menunjukkan bahwa kuat lentur tertinggi pada komposit sandwich variasi kedua dengan rata-rata ρ_{max} sebesar 2013,2 Newton atau 205,43 Kg, rata-rata nilai kuat tekan sebesar 4,874 Kg/mm² dan rata-rata nilai modulus elastisitas sebesar 14,15 Kg/mm². Namun apabila membandingkan hasil uji lentur dengan standard kuat lentur BKI, tak satupun komposit sandwich yang memenuhi persyaratan. Sedangkan pada analisa ekonomis, penggunaan komposit sandwich menyebabkan kapal lebih mahal 37,56% dan lebih tebal sekitar 71,31% dari komposit *single skin*, namun lebih ringan sekitar 74,51% dari komposit *single skin*.

Kata kunci: Sandwich, *Divinycell*, *Vacuum Infusion*, Kuat Lentur, Kuat Dampak

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam industri galangan kapal *fiberglass* telah mendorong peningkatan kualitas dalam proses produksi material komposit. Teknologi metode laminasi yang sedang berkembang saat ini adalah metode *vacuum infusion*, dimana metode ini belum banyak diterapkan oleh galangan kapal di Indonesia. Kesulitan yang dihadapi saat menggunakan laminasi metode *vacuum infusion* ialah sulitnya pihak klasifikasi untuk menentukan ketebalan optimum yang dibutuhkan untuk mencapai kekuatan yang disyaratkan oleh klasifikasi. Dengan menggunakan metode laminasi ini ketebalan hasil laminasi lebih tipis sehingga peraturan sebelumnya tidak dapat dijadikan acuan dalam menentukan ketebalannya.

Untuk mendukung penelitian terkait material komposit pada kapal, maka diperlukan suatu analisa ekonomis dengan membandingkan antara kapal yang menggunakan komposit sandwich dengan *single skin*. Dalam penelitian ini, komposit sandwich dengan metode produksi *vacuum infusion* diharapkan dapat menjadi pilihan sebagai metode produksi pada material kapal, karena memiliki potensi yang menjanjikan, diantaranya meningkatkan *glass content*, lamina komposit lebih tipis karena tidak ada udara yang terperangkap didalam lamina, serta mengurangi beban pekerja. Pemanfaatan metode *vacuum infusion* diharapkan dapat menjadi alternatif baru sebagai teknologi produksi pembuatan kapal di Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang, maka penelitian ini diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Mengetahui komposisi bahan yang dibutuhkan pada material komposit sandwich.
2. Mengetahui proses pembuatan material komposit dengan metode *vacuum infusion*.
3. Pengaruh variasi komposisi serat terhadap kekuatan bending dan dampak.
4. Analisa ekonomis pembuatan material komposit sandwich dengan menerapkan pada kapal yang telah ada.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir ini agar sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang di harapkan adalah :

1. Pengujian yang digunakan hanya sebatas pengujian mekanik.
2. Analisa teknis dan pengolahan data didapat dengan menggunakan alat uji tekan, dan uji dampak.
3. Material bahan komposit yang dikaji adalah material komposit sandwich dengan metode pembuatan *vacuum infusion*.
4. Analisa ekonomis hanya memperhitungkan biaya komposisi bahan yang diperlukan pada kapal

1.4 Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui nilai kekuatan dari material komposit sandwich dengan metode *vacuum infusion* jika menerima beban bending dan dampak.
2. Untuk mengetahui pengaruh komposisi penyusun terhadap kekuatan tekuk dan dampak dari material komposit sandwich.
3. Mengetahui perbandingan nilai ekonomis pada kapal antara pemakaian material komposit sandwich dengan komposit biasa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuknya melalui pencampuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing – masing material pembentuknya

berbeda – beda. Dari pencampuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Pada umumnya komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda yaitu:

1. Matriks, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan *rigiditas* yang lebih rendah.
2. Penguat (*reinforcement*), umumnya berbentuk serat yang mempunyai sifat kurang *ductile* tetapi lebih rigid dan lebih kuat.

2.2 Klasifikasi Material Komposit

Secara umum klasifikasi komposit yang sering digunakan antara lain seperti

1. Klasifikasi menurut kombinasi material utama
 2. Klasifikasi menurut karakteristik *built-from*
 3. Klasifikasi menurut distribusi unsur pokok
 4. Klasifikasi menurut fungsinya
- Sedangkan klasifikasi menurut komposit serat;
1. *Fiber composite*
 2. *Filled composite*
 3. *Flake composite*
 4. *Particulate composite*
 5. *Laminate composite*

2.3 Tipe Serat Pada Komposit

Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit yaitu ;

1. *Continuous Fiber Composite*
2. *Non Crimp Fiber*
3. *Discontinuous Fiber Composite*
4. *Hybrid Fiber Composite*

2.4 Komposit Sandwich

Pada prinsipnya, konsep konstruksi sandwich adalah meningkatkan kekakuan (*stiffness*) pada suatu panel tanpa adanya penambahan berat. Secara teoritis konstruksi komposit sandwich merupakan konstruksi *single skin* dengan tebal yang dibagi dua, dan dipisahkan oleh lapisan inti yang ringan dan tebal. Lapisan inti dan lamina direkatkan oleh suatu bahan perekat. Bahan yang digunakan sebagai lapisan inti harus mempunyai sifat yang ringan, memiliki kekuatan geser untuk mendistribusikan tegangan antara kedua kulit dan kekuatan tekanan yang baik untuk menahan beban. Baik lapisan inti maupun bahan perekat harus bersifat tahan air.

2.5 Metode Produksi Vacuum Infusion

Vacuum Infusion (VI) adalah metode pembuatan material komposit yang menggunakan aplikasi tekanan rendah untuk mengatur jalannya resin menjadi lamina. Material yang menjadi matriks diletakkan di sebuah cetakan, kemudian dilakukan proses vakum untuk menarik aliran resin kedalam matriks yang berada dalam cetakan. Setelah lembaran-lembaran antara resin dan matriks terbentuk, maka tabung vakum akan menghisap sisa-sisa resin yang masih tertinggal, sehingga lembaran yang terbentuk mempunyai ketebalan yang sama. Penggunaan metode *vacuum infusion* pada pembuatan komposit menawarkan *fiber content* yang tinggi dibandingkan metode *hand lay up* konvensional.

Fiber content adalah kandungan fiber reinforcement dalam komposit. Pada metode *hand lay up* umumnya menggunakan CSM (*Chopped Strand Mat*) dan WR (*Woven Roving*), sedangkan pada metode *vacuum infusion* menggunakan E-glass jenis unidirectional, biaxial atau multiaxial. Berikut fiber ratio untuk masing-masing tipe;

Tabel 1. Perbandingan glass content

Reinforcement	Glass Content
CSM	0,30
WR	0,50
biaxial	0,70

2.6 Sifat Mekanik Komposit

Sifat mekanik suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban-beban yang dikenakan kepadanya. Beberapa sifat mekanis antara lain:

1. Kekuatan (*strenght*)
2. Kekerasan (*hardness*)
3. Kekenyalan (*elasticity*)
4. Kekakuan (*stiffness*)
5. Plastisitas (*plasticity*)

2.7 Uji bending

Untuk mengetahui kekuatan *bending* dapat dilakukan pengujian dengan mesin uji. Pengujian *bending* komposit sandwich menggunakan standar ASTM C-393 dengan ukuran panjang 16 kali tebal inti (*core*) dan tebal antara 2 kali tebal *core* hingga 3 kali tebal total spesimen. Bagian atas spesimen akan mengalami tegangan tekan dan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Pada

material yang homogen pengujian batang sederhana dengan dua titik dudukan dan pembebanan pada tengah-tengah batang uji (*three point bending*), maka tegangan maksimum dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$E = \text{MOE} = \frac{P.L}{4W} \quad \sigma = \frac{3 PL}{2 bh^2}$$

Dimana ;

- σ = Kekuatan *bending*, (Kg/mm²)
- MoE = Modulus Elastisitas, (Kg/mm²)
- P = Beban, (N atau Kg)
- L = Panjang span, (mm)
- b = lebar batang uji (mm)
- h = tebal batang uji (mm)
- w = luas batang uji (mm²)

2.8 Uji Impak

Ketangguhan komposit dapat diketahui dengan menggunakan uji impak (*impact test*) dengan standar ASTM D-5942 dengan dimensi panjang 150mm dan lebar 15mm. Uji ini bertujuan untuk mengukur ketangguhan atau kemampuan suatu bahan dalam menyerap energi sebelum patah (*toughness*). Kekuatan impak benda uji dihitung dengan menggunakan Persamaan:

$$\frac{W}{b_i \times h_i}$$

W = energi terserap benda uji (Joule)

b_i = lebar benda uji impak (mm)

h_i = tebal benda uji impak (mm)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan menggunakan textbook, jurnal ilmiah, website dan lainnya. Dengan adanya studi literatur yang diambil dari textbook, jurnal ilmiah, website dan lainnya dapat menjadi landasan teori untuk menyelesaikan permasalahan yang ada.

3.2 Bahan Penelitian

1. Serat E-glass jenis biaxial
2. Resin vinylester
3. Divinycell H80
4. Katalis
5. Cobalt
6. *Mold release*
7. Promotor PX
8. *Peel ply*
9. *Flow media*
10. Lantor soric XF4

11. *Bagging film*
12. *Sealant tape*

3.3 Peralatan Penelitian

1. Alat cetak
2. Timbangan
3. Gergaji
4. Kuas cat
5. Gelas ukur
6. Mesin vakum
7. Selang *flow tube*
8. Selang *spral warp*

3.4 Proses pembuatan spesimen

1. Bersihkan cetakan dengan *mold release*
2. Tuangkan gelcoat yang telah dicampur oleh cobalt (0,3% jumlah gelcoat) dan catalyst (2% jumlah gelcoat)
3. Siapkan lembaran *pvc foam*, potong-potong sesuai ukuran yang diinginkan dan lubang di beberapa celah-celahnya.
4. Lapisi cetakan dengan resin *vinyl-ester R-802* yang sudah diberi *cobalt*, promotor *P-Ex* dan *catalyst*.
5. Susun material komposit *sandwich* yang telah direncanakan.
6. Tutupi dengan *peel ply*. Lalu tutupi dengan *flow media*.
7. Tempelkan *sealant tape* pada sekeliling cetakan. Lalu Tutupi dengan *vacuum bag film*
8. Nyalakan pompa vakum dan tes, apakah masih terdapat kebocoran.
9. Siapkan resin R-802 yang sudah dicampur oleh *Styrene Monomer* (10% dari volume resin), *Promotor P-Ex* (sebanyak 0,5% dari volume), serta *Catalyst Mepoxe-M* (2% dari volume resin)
10. Tuangkan resin R-802 *vinyl-ester* yang siap pakai ke cetakan.
11. Pasang selang (*flow tube*) antara sambungan tempat resin-cetakan-*catch spot*-mesin vakum
12. Nyalakan mesin vakum dan biarkan resin tersedot oleh mesin vakum.
13. Apabila resin tidak cukup diluar perhitungan, jangan tunggu resin habis di tempat cetakan. Tuangkan kembali resin yang telah siap pakai (seperti pada poin 10) sebelum resin habis.
14. Setelah cetakan dan bahan-bahan sudah terlapisi resin R-802 *vinyl-ester* dan sudah dirasa cukup. Biarkan mesin vakum berjalan kurang lebih 10 menit

3.5 Perhitungan Ketebalan Lamina

Tebal laminasi per lapisan dari CSM atau WR termasuk resin didapat oleh rumus :

$$t = [W_G / 10 \cdot \gamma_R \cdot G] + [W_G / 1000 \cdot \gamma_G] - [W_G / 1000 \cdot \gamma_R]$$

Dimana :

t = tebal (mm)

WG = berat per luas dari CSM atau WR yang digunakan (gram/m²)

G = kandungan serat penguat dalam laminasi (%)

γ_R = specific gravity dari resin yang sudah mengeras

γ_G = specific gravity dari CSM atau WR yang digunakan

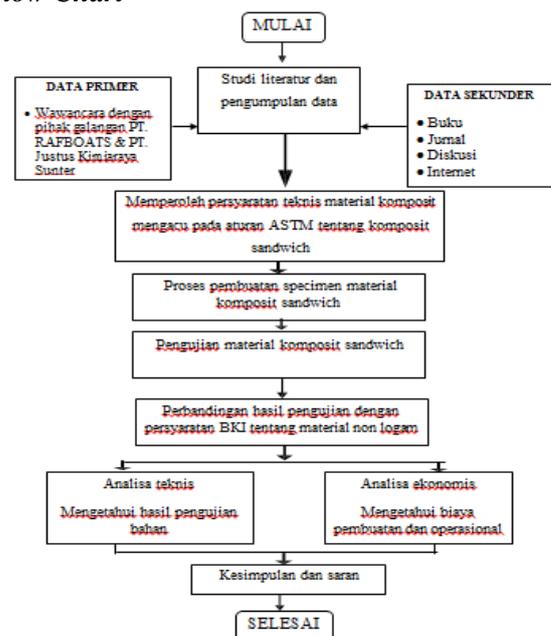
3.6 Konfigurasi Serat dan Resin Pembentuk Lamina

Tabel 2. Spesifikasi material per variasi

Varian	Tebal core	Lebar	Tebal total
Sandwich 1	15 mm	15 mm	17,40 mm
Sandwich 2	15 mm	15 mm	17,42 mm
Sandwich 3	15 mm	15 mm	17,44 mm
Sandwich 4	15 mm	15 mm	21,42 mm

Dari tabel terlihat bahwa tidak terjadi perubahan kebutuhan serat, resin, cobalt, katalis dan wax tiap variasi sudutnya . Hal ini disebabkan penyusunan serat yang sedemikian rupa sehingga tidak terlalu mempengaruhi kebutuhan bahan.

Flow Chart



4. HASIL DAN ANALISA DATA

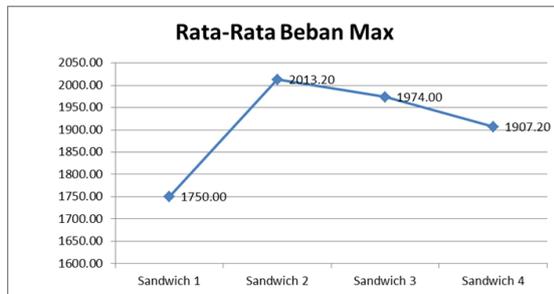


Gambar 1. Hasil uji bending (kiri) dan uji impak (kanan)

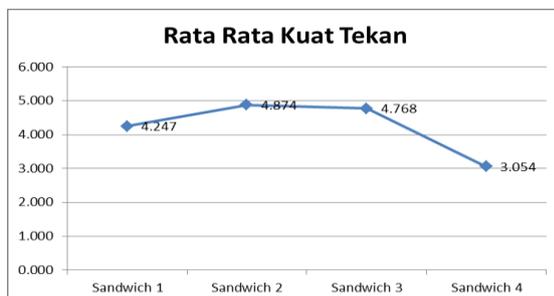
4.1 Pengujian Bending

Pada data hasil pengujian tekuk diambil dari sampel hasil yang menunjukkan besarnya harga gaya beban maksimal saat menekuk. Pengujian tekuk tersebut didapatkan harga gaya beban (P beban) dan tegangan lentur max (σ max). Dari tiap variable pengujian terdapat lima sample spesimen.

Mesin uji bending pada penelitian ini menggunakan satuan newton. Gaya gravitasi bumi pada benda yang massanya 1 kg kira-kira sama dengan 9,8 N. Sehingga dapat disimpulkan 1 kg = 9.8 N. Berikut ini merupakan hasil dari perhitungan data yang didapat pada saat pengujian bending yang dikelompokkan berdasarkan variasi.



Gambar 2. Grafik beban maksimal per variasi

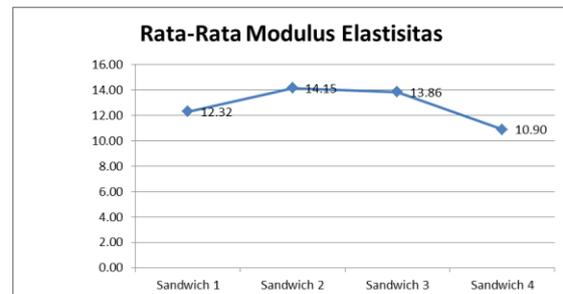


Gambar 3. Grafik Rata - Rata Hasil Uji Bending Komposit Sandwich per variasi

Tabel 3. hasil uji bending

Material	Spesimen	p max		Kuat Tekan Kg/mm ²	MoE Kg/mm ²
		Newton	Kg		
Varian 1	Spesimen 1	1800	183.67	4.368	12.667
	Spesimen 2	1712	174.69	4.154	12.048
	Spesimen 3	1726	176.12	4.188	12.146
	Spesimen 4	1802	183.88	4.373	12.681
	Spesimen 5	1710	174.49	4.150	12.034
Varian 2	Spesimen 1	2024	206.53	4.900	14.227
	Spesimen 2	2004	204.49	4.852	14.087
	Spesimen 3	2036	207.76	4.929	14.311
	Spesimen 4	2126	216.94	5.147	14.944
	Spesimen 5	1876	191.43	4.542	13.187
Varian 3	Spesimen 1	1980	202.04	4.783	13.902
	Spesimen 2	1760	179.59	4.251	12.357
	Spesimen 3	1998	203.88	4.826	14.028
	Spesimen 4	2132	217.55	5.150	14.969
	Spesimen 5	2000	204.08	4.831	14.042
Varian 4	Spesimen 1	2042	208.37	3.270	11.673
	Spesimen 2	1898	193.67	3.039	10.850
	Spesimen 3	1834	187.14	2.937	10.484
	Spesimen 4	1918	195.71	3.071	10.964
	Spesimen 5	1844	188.16	2.953	10.541

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa beban maksimal rata – rata pada komposit varian pertama 1750 Newton atau 178,57 Kg, varian kedua sebesar 2013,2 Newton atau 205,43 Kg, varian ketiga sebesar 1974 Newton atau 201,43 Kg dan varian keempat 1907,2 Newton atau 194,61 Kg. Sedangkan kuat lentur rata – rata pada komposit varian pertama 4,247 kg/mm², varian kedua sebesar 4,874 kg/mm², varian ketiga sebesar 4,768 kg/mm² dan varian keempat 3,054 kg/mm².

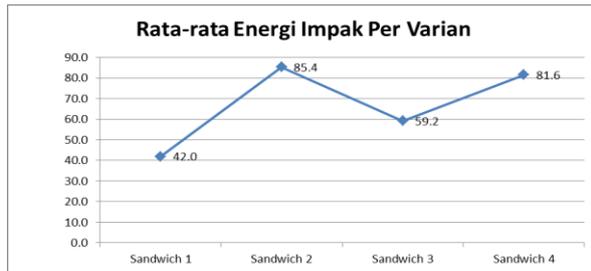


Gambar 4. Grafik Rata - Rata modulus elastisitas per variasi

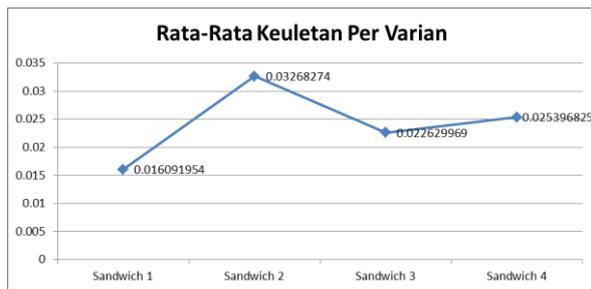
Pada grafik diatas menunjukkan bahwa modulus elastisitas rata – rata pada komposit varian pertama 12,32 kg/mm², varian kedua sebesar 14,15 kg/mm², varian ketiga sebesar 13,86 kg/mm² dan varian keempat 10,90 kg/mm². Dari kesimpulan uji bending diatas, menunjukkan komposit varian keempat meskipun memiliki ketebalan yang terbesar berkat penambahan lantor soric justru tidak menjamin peningkatan kekuatan uji lentur.

4.2 Pengujian Impact

Pada data hasil pengujian tumbuk diambil dari sampel hasil pengujian yang hasilnya berupa grafik yang menunjukkan besar gaya patah pada saat beban pukul mematahkan spesimen. Dari hasil pengujian tumbuk yang dilakukan dengan variasi komposisi penyusun didapatkan nilai keuletan. Berikut merupakan hasil dari perhitungan data yang didapat saat pengujian tumbuk yang dikelompokkan berdasarkan variasi arah serat.



Gambar 5. Grafik Rata – Rata energi impact per variasi



Gambar 6. Grafik Rata – Rata nilai keuletan Komposit Sandwich per variasi

Tabel 4. spesifikasi hasil uji impact

Material	spesimen	Joule	Keuletan (J/mm ²)
Sandwich 1	spesimen 1	53	0.0000
	spesimen 2	47	0.0000
	spesimen 3	41	0.0000
	spesimen 4	32	0.0000
	spesimen 5	37	0.0000
Sandwich 2	spesimen 1	90	0.0000
	spesimen 2	83	0.0000
	spesimen 3	98	0.0000
	spesimen 4	89	0.0000
	spesimen 5	67	0.0000
Sandwich 3	spesimen 1	49	0.0000
	spesimen 2	49	0.0000
	spesimen 3	69	0.0000
	spesimen 4	58	0.0000
	spesimen 5	71	0.0000
Sandwich 4	spesimen 1	68	0.0000
	spesimen 2	72	0.0000
	spesimen 3	119	0.0000
	spesimen 4	89	0.0000
	spesimen 5	60	0.0000

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa energi impact pada komposit varian pertama sebesar 42 joule, varian kedua sebesar 85,4 joule

varian ketiga sebesar 59,2 joule dan varian keempat sebesar 81,6 joule. Sedangkan rata – rata keuletan pada komposit varian pertama sebesar 0.016 joule/mm², varian kedua sebesar 0.032 joule/mm² varian ketiga sebesar 0.022 joule/mm² dan varian keempat sebesar 0.025 joule/mm². Hal ini menunjukkan komposit varian kedua memiliki nilai energi dan keuletan impact yang terbesar.

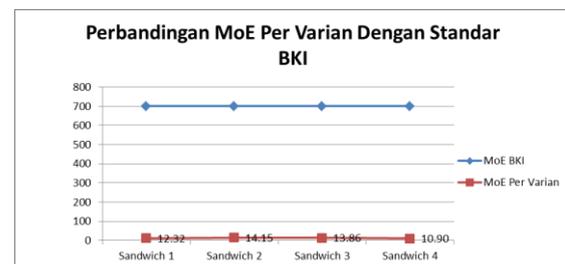
4.3 Perbandingan Hasil Uji Terhadap Peraturan BKI

Pada *Rules And Regulation For The Classification And Construction Of Ship*, Biro Klasifikasi Indonesia. Besaran yang disyaratkan dalam peraturan ini khusus dispesifikasikan untuk Kapal – kapal FRP dengan bahan penguat fiberglass yang diisi oleh serat penguat baik itu jenis E-Glass maupun lainnya harus memiliki standar kuat tekan sebesar 15 kg/mm² serta modulus kuat tekan sebesar 700 kg/mm².

Perbandingan Hasil Rata – Rata Pengujian Bending Komposit sandwich dengan Standar BKI sebagai berikut



Gambar 7. Grafik Perbandingan Rata – Rata kuat tekan dengan Standar BKI



Gambar 8. Grafik Perbandingan Rata – Rata modulus elastisitas dengan Standar BKI

Mengacu pada persyaratan BKI di atas dan membandingkan nilai hasil uji bending dari masing – masing variasi sandwich dilihat bahwa semua variasi tidak memenuhi standar persyaratan yang ditetapkan Biro Klasifikasi Indonesia. Sehingga material komposit

sandwich *vacuum infusion* belum bisa digunakan pada bagian komponen konstruksi dari kapal fiberglass.

Beberapa kemungkinan yang menjadikan komposit sandwich ini tidak memenuhi persyaratan BKI diantaranya;

- Jumlah lapisan serat E-glass biaxial yang kurang memenuhi
- Faktor suhu dan kelembapan
- Pencampuran jumlah gelcoat, cobalt, resin dan katalis yang dibutuhkan kurang tepat

4.4 Analisa Ekonomis

Berikut adalah hasil perhitungan scantlingnya dengan mengambil contoh data kapal sebagai berikut:

LOA : 16,00 m
 LWL : 14,35 m
 B : 3,45 m
 H : 2,00 m
 T : 0,80 m
 Cb : 0,37
 V_s : 48 knots
 Displacement : 12,00 ton

Berdasarkan perhitungan ketebalan minimum menggunakan perhitungan BKI adalah sebagai berikut :

$$t_{\text{lunas}} = 9 + 0,4L \quad (\text{mm})$$

$$t_{\text{sisi}} = 15S\sqrt{(d+0,026L)} \quad (\text{mm})$$

$$t_{\text{alas}} = 15,8S\sqrt{(d+0,026L)} \quad (\text{mm})$$

$$t_{\text{geladak}} = 18,2S\sqrt{h} \quad (\text{mm})$$

$$t_{\text{sekat}} = 12S\sqrt{h} \quad (\text{mm})$$

dimana ;

S = jarak gading standar

d = sarat kapal

L = Lwl

h = konstanta 0,46 (ton/m²)

Berdasarkan data kapal yang ditinjau dapat diketahui ketebalan dan luasan komponen badan kapal adalah sebagai berikut:

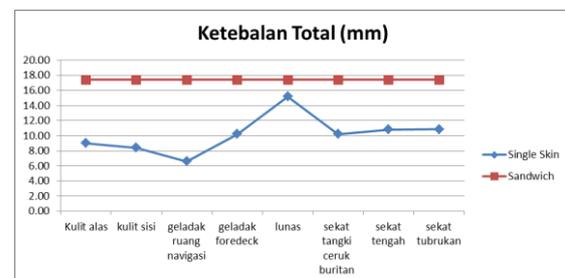
Tabel 5. Tebal dan Luasan komponen kapal

No.	Bagian	Tebal (mm)	Luasan (m ²)
1	kulit sisi	8,12	36,603
2	kulit alas	8,55	57,987
3	geladak navigasi	6,17	13,575
4	geladak foredeck	9,92	22,375
5	lunas	14,74	11,478
6	sekat buritan	10,13	3,280
8	Sekat tengah	10,39	3,363
8	Sekat tubrukan	10,86	3,286

Tabel 6. Perbandingan ketebalan

Bagian kapal	mm ²	Single skin	sandwich
Kulit alas	57,597	9,00	17,40
Kulit sisi	36,608	8,40	17,40
Geladak navigasi	13,575	6,60	17,40
Geladak foredeck	22,375	10,20	17,40
Lunas	11,478	15,19	17,40
Sekat buritan	3,280	10,20	17,40
Sekat tengah	3,363	10,80	17,40
Sekat tubrukan	3,286	10,86	17,40

Mengacu pada tabel di atas, dapat dilihat bahwa penggunaan komposit sandwich menyebabkan peningkatan pada ketebalan pada komponen kapal rata-rata sebesar 6,44 mm. perbandingan ketebalan komposit *single skin* dengan komposit sandwich dapat dilihat pada grafik dibawah

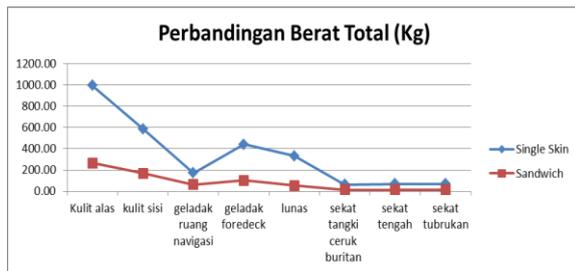


Gambar 9. Grafik Perbandingan ketebalan single skin dengan komposit sandwich

Tabel 7. Perbandingan berat

Bagian kapal	mm ²	Single skin (Kg)	Sandwich (Kg)
Kulit alas	57,597	994,06	265,08
Kulit sisi	36,608	585,73	167,35
Geladak navigasi	13,575	170,66	62,06
Geladak foredeck	22,375	440,42	102,29
Lunas	11,478	332,62	52,47
Sekat buritan	3,280	63,73	14,99
Sekat tengah	3,363	69,18	15,37
Sekat tubrukan	3,286	68,02	15,02

Mengacu pada tabel di atas, dapat dilihat bahwa penggunaan komposit sandwich menyebabkan pengurangan bobot kapal rata-rata sebesar 2029,77 kg. perbandingan bobot komposit single skin dengan komposit sandwich dapat dilihat pada grafik berikut.

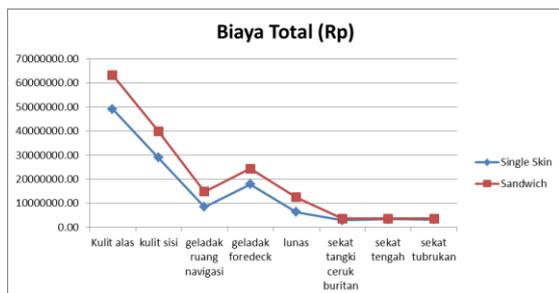


Gambar 10. Grafik Perbandingan berat *single skin* dengan komposit sandwich

Tabel 8. Perbandingan biaya

Bagian kapal	mm ²	<i>Single skin</i> (Rp)	Sandwich (Rp)
Kulit alas	57,597	49166346	63281378
Kulit sisi	36,608	28970105	39950415
Geladak navigasi	13,575	8440702	14814436
Geladak foredeck	22,375	17892280	24417901
Lunas	11,478	6380485	12525974
Sekat buritan	3,280	2966469	3579473
Sekat tengah	3,363	3421727	3670051
Sekat tubrukan	3,286	3308039	3586021

Mengacu pada table di atas, dapat dilihat bahwa penggunaan komposit sandwich menyebabkan peningkatan biaya kapal dengan total selisih sebesar Rp. 45.279.496 dibandingkan dengan penggunaan komposit *single skin*. perbandingannya dapat dilihat pada grafik dibawah



Gambar 10. Grafik Perbandingan biaya single skin dengan komposit sandwich

Mengacu pada grafik di atas, dapat dilihat bahwa penggunaan komposit sandwich menyebabkan peningkatan pada ketebalan pada komponen kapal sekitar 71,31% dan harga sekitar 37,56%, namun mengurangi bobot kapal sekitar 74,51%.

Dalam proses *vacuum infusion*, terdapat biaya tambahan dikarenakan dalam proses produksinya memerlukan perlengkapan yang

hanya dapat digunakan sekali pakai. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada table dibawah

Tabel 9. Kebutuhan perlengkapan

Komponen	Luasan (m ²)	Vacuum Bag	Flow Media	Peel Ply
Kulit alas	57.987	7805050	3032720	2597818
kulit sisi	36.608	4927437	1914598	1640038
geladak ruang navigasi	13.575	1827195	709973	608160
geladak foredeck	22.375	3011675	1170213	1002400
lunas	11.478	1544939	600299	514214
sekat tangki ceruk buritan	3.28	441488	171544	146944
sekat tengah	3.363	452660	175885	150662
sekat tubrukan	3.286	442296	171858	147213
Total =		20452739	7947090	6807450

Mengacu pada table di atas, dapat dilihat bahwa pembuatan komposit dengan metode *vacuum infusion* menyebabkan adanya biaya tambahan sebesar total Rp 35.207.278, dibandingkan dengan pembuatan komposit dengan metode konvensional

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Nilai kekuatan bending dan energy impak tertinggi dimiliki oleh komposit sandwich varian kedua dengan rata – rata kuat bendingnya 4.874 Kg/mm². Sedangkan energy impaknya 85,4 J/mm².
2. Arah sudut serat biaxial mempengaruhi besar kecilnya kekuatan bending. Sedangkan arah sudut serat tidak terlalu berpengaruh terhadap kekuatan impak
3. Penggunaan material komposit sandwich menyebabkan peningkatan ketebalan pada hampir seluruh bagian kapal sebesar 71,31% dan peningkatan harga kapal sebesar 37,56%. Namun mengurangi bobot kapal cukup signifikan sekitar 74,51%.

5.2 Saran

1. Disarankan lakukan pengujian lanjutan dengan menggunakan standar pengujian lain seperti JIZ, SNI serta klasifikasi lainnya seperti DNV, ABS, dan lain sebagainya.
2. Disarankan pada penelitian selanjutnya agar memperhitungkan mengenai ketebalan kulit sandwich.
3. Disarankan untuk pembuatan specimen uji sebaiknya dilakukan oleh orang yang sudah ahli dalam metode *vacuum infusion*.

4. Disarankan juga dilakukan pengujian dengan menggunakan matriks lain seperti resin epoxy.
5. Disarankan juga dilakukan pengujian dengan menggunakan stitch bonded jenis lain seperti unidirectional dan multiaxial.
6. Disarankan juga dilakukan pengujian dengan menggunakan *divinycell* dengan *density* dan ketebalan yang berbeda.
7. Disarankan juga dilakukan pengujian lainnya seperti uji tarik (*tensile strength*), uji tekan (*compressive strength*), uji kekerasan (*hardness strength*) uji kelelahan (*fatigue test*), dan uji kekedapan terhadap air.
8. Dalam perhitungan analisa ekonomis gunakan kurs mata uang Dollar Amerika karena cenderung lebih stabil sehingga hasil penelitian dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, 2004, “*Annual Book ASTM Standart*”, USA.
- [2] Anonim, 2008, “*The Deadliest Fast Attack Craft*”. Angkasa Edisi Koleksi. Jakarta.
- [3] ASTM C393-00, 2000, *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions*. USA.
- [4] ASTM D5942-96, 1996, *Standard Test Method for Determining Charpy Impact Strength Of Plastic*. USA.
- [5] Biro Klasifikasi Indonesia, 1996, “*Rules and Regulation for The Classification and Construction of Ships*”, Jakarta.
- [6] Biro Klasifikasi Indonesia, 2014, “*Rules for Non-Metallic Materials Volume XIV*”, Jakarta.
- [7] Febriyanto, S, 2011, “*Penggunaan Metode Vacuum Assisted Resin Infussion Pada Bahan Uji Komposit Sandwich Untuk Aplikasi Kapal Bersayap Wise-8*”, Tugas Akhir Program Studi Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.
- [8] Gibson, R. F, 1994 *Principles of Composite Material Mechanic*, McGraw-Hill, Book Co, Singapore.
- [9] Gupta, N, 2004, “*Characterization of Flexural Properties of Syntactic Foam Core Sandwich Composites and Effect of Density Variation*”, Brooklyn, USA.
- [10] Pamela, M, 2008, “*Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Coremat Untuk Konstruksi FRP (Fiberglass Reinforced Plastic) Sandwich Pada Badan Kapal*”, Tugas Akhir Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- [11] S. Sunaryo, G.L. Putra, S.M. Lestari, 2013, “*Thickness and Fiber Content Optimization in VARTM Method for High Speed Craft*”, *Advanced Materials Research*, Vol. 789, pp. 412-416.
- [12] Putradi, G.I, 2011, “*Kekuatan Impak Komposit Sandwich Berpenguat Serat Aren*”, Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Indonesia.