

STUDI KELAYAKAN PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT PADA STRUKTUR KAPAL UNTUK MENGURANGI BERAT DAN KOROSI

Agustin Dwi Sumiwi^{1*}, Ramdhani Yusli Arbain Sugoro², Deza Zalia Permata Dewi³, Pricillia Magdalena Tampubolon⁴

^{1,2,3,4} Universitas Ibnu Sina, Batam, Indonesia
e-mail: sumiwii@uis.ac.id

Abstrak

Struktur kapal baja rentan terhadap korosi dan memiliki bobot yang besar. Penelitian ini bertujuan mengkaji kelayakan teknis dan ekonomis penggunaan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) pada komponen kapal patroli di PT Citra Shipyard, Tanjung Uncang, Batam. Pengujian mekanik mengacu ASTM D3039, D790, dan D2344 menggunakan Universal Testing Machine 100 kN dengan matriks epoksi Bisphenol-A dan metode hand lay-up. GFRP 8 lapis woven roving memiliki kekuatan tarik 312 MPa, modulus elastisitas 18,4 GPa, dan densitas 1.720 kg/m³, dibandingkan baja A36 sebesar 400 MPa, 200 GPa, dan 7.850 kg/m³. Laju korosi GFRP kurang dari 0,001 mm/tahun, sedangkan baja 0,18 mm/tahun (uji salt spray 500 jam, ASTM B117). Penggunaan GFRP mengurangi berat struktural 27,6% dan life cycle cost 25 tahun turun dari Rp 4,63 miliar menjadi Rp 1,93 miliar. GFRP 12 lapis memenuhi persyaratan minimum BKI untuk struktur kapal kelas B.

Kata kunci : material komposit; GFRP; struktur kapal; korosi; life cycle cost; BKI

Abstract

Steel ship structures are prone to corrosion and are heavy. This study assesses the technical and economic feasibility of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) for patrol vessel components at PT Citra Shipyard, Tanjung Uncang, Batam. Mechanical tests followed ASTM D3039, D790, and D2344 using a 100 kN Universal Testing Machine with Bisphenol-A epoxy matrix and hand lay-up. The 8-layer woven roving GFRP has a tensile strength of 312 MPa, an elastic modulus of 18.4 GPa, and a density of 1,720 kg/m³, compared with A36 steel at 400 MPa, 200 GPa, and 7,850 kg/m³. The corrosion rate of GFRP is below 0.001 mm/year versus 0.18 mm/year for steel (500-hour salt spray test, ASTM B117). GFRP reduces structural weight by 27.6% and the 25-year life cycle cost falls from IDR 4.63 billion to IDR 1.93 billion. The 12-layer GFRP meets the minimum BKI requirements for class B ship structures.

Keywords : composite material; GFRP; ship structure; corrosion; life cycle cost; BKI

1. PENDAHULUAN

Baja masih menjadi material utama struktur kapal, tetapi memiliki dua kelemahan, yaitu bobot yang besar dan kerentanan terhadap korosi di lingkungan laut yang membutuhkan perawatan berulang. Material komposit berpenguat serat gelas (GFRP) menawarkan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi serta ketahanan korosi yang baik (Davies, 2016; Sheno & Wellicome, 1993).

Penerapan GFRP pada struktur kapal perlu dikaji kelayakannya karena kekuatan, kekakuan, dan biaya awalnya berbeda dari baja. Pemilihan material perlu mempertimbangkan sifat mekanik, bobot, dan biaya siklus hidup secara bersama-sama (Ashby, 2011), serta harus memenuhi aturan klasifikasi (BKI, 2023). Penelitian ini mengkaji kelayakan teknis dan ekonomis GFRP dibandingkan baja A36 pada komponen kapal patroli di PT Citra Shipyard, Tanjung Uncang, Batam, mencakup sifat mekanik, pengurangan berat, ketahanan korosi, dan *life cycle cost* (LCC) selama 25 tahun.

2. METODE PENELITIAN

Pembuatan dan Pengujian Spesimen

Spesimen GFRP dibuat dengan matriks resin epoksi Bisphenol-A menggunakan metode *hand lay-up* di workshop PT Citra Shipyard dengan variasi 8 lapis dan 12 lapis *woven roving*. Pengujian tarik, lentur, dan geser antar lapisan mengacu ASTM D3039, D790, dan D2344 menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) kapasitas 100 kN di Laboratorium Material Universitas Ibnu Sina.

Uji Korosi

Ketahanan korosi dibandingkan dengan uji *salt spray* selama 500 jam mengacu ASTM B117.

Analisis Berat dan Biaya

Perbandingan berat dilakukan pada geladak dan superstruktur, sedangkan analisis LCC 25 tahun menggunakan data biaya konstruksi aktual kapal baja dari mitra.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Mekanik

Tabel 1. Sifat mekanik GFRP dan baja A36

Sifat	GFRP 8 lapis	GFRP 12 lapis	Baja A36
Kekuatan tarik (MPa)	312	418	400
Kekuatan lentur (MPa)	285	392	250
Modulus elastisitas (GPa)	18,4	26,7	200
Densitas (kg/m ³)	1.720	1.780	7.850
Rasio kekuatan/berat ($\times 10^{-3}$ MPa·m ³ /kg)	181,4	234,8	51,0

GFRP 8 lapis memiliki kekuatan tarik di bawah baja, sedangkan GFRP 12 lapis (418 MPa) melampaui baja (400 MPa). Rasio kekuatan terhadap berat GFRP jauh lebih tinggi, yaitu 181,4 dan 234,8 dibandingkan 51,0 pada baja. Namun, modulus elastisitas GFRP (18,4–26,7 GPa) jauh lebih rendah daripada baja (200 GPa), sehingga kekakuan perlu diperhatikan dalam perancangan. GFRP 12 lapis memenuhi persyaratan minimum BKI untuk struktur kapal kelas B.

Berat Struktural

Tabel 2. Perbandingan berat struktural (geladak dan superstruktur)

Komponen	Baja (kg)	GFRP (kg)	Perubahan
Geladak utama	8.420	5.970	–29,1%
Dinding sisi	6.340	4.890	–22,9%
Sekat melintang	3.180	2.410	–24,2%
Superstruktur	2.940	1.850	–37,1%
Total	20.880	15.120	–27,6%

Penggunaan GFRP mengurangi berat struktur sebesar 27,6% secara total, dengan pengurangan terbesar pada superstruktur (37,1%). Pengurangan berat ini juga mendasari penghematan bahan bakar yang dihitung pada analisis biaya.

Ketahanan Korosi

Pada uji *salt spray* 500 jam, laju korosi GFRP kurang dari 0,001 mm/tahun, sedangkan baja 0,18 mm/tahun. Hal ini menjelaskan jauh lebih rendahnya biaya perawatan korosi pada GFRP.

Life Cycle Cost 25 Tahun

Tabel 3. Life cycle cost 25 tahun per unit (Rp juta)

Komponen biaya	Baja	GFRP
Material dan fabrikasi	1.850	2.550
Perawatan korosi 25 tahun	2.400	180
Penghematan BBM	-	–920
Total 25 tahun	4.630	1.930

Biaya awal GFRP lebih tinggi daripada baja, tetapi biaya perawatan korosi dan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah membuat total biaya 25 tahun GFRP lebih kecil, dengan penghematan Rp 2,70 miliar per unit. Kendala penelitian adalah keterbatasan peralatan uji komposit lanjutan (uji fatik dan NDT ultrasonik) di laboratorium universitas, sehingga beberapa pengujian dikoordinasikan dengan Balai Besar Teknologi Polimer BPPT di Cilegon yang menambah durasi dan biaya.

4. KESIMPULAN

1. GFRP 12 lapis memiliki kekuatan tarik 418 MPa dan kekuatan lentur 392 MPa, melampaui baja A36, serta memenuhi persyaratan minimum BKI untuk struktur kapal kelas B; GFRP 8 lapis memiliki kekuatan tarik 312 MPa.
2. GFRP mengurangi berat struktural geladak dan superstruktur sebesar 27,6% (20.880 kg menjadi 15.120 kg).
3. Laju korosi GFRP kurang dari 0,001 mm/tahun dibandingkan baja 0,18 mm/tahun.
4. Biaya siklus hidup 25 tahun GFRP (Rp 1,93 miliar) lebih rendah daripada baja (Rp 4,63 miliar), dengan penghematan Rp 2,70 miliar.

5. SARAN

Berikut beberapa saran dari penelitian ini:

1. Perlu dilakukan pengujian ketahanan api GFRP sesuai SOLAS dan IMO FTP Code 2010.
2. Perlu dikembangkan metode sambungan komposit-baja untuk *retrofit* kapal eksisting, serta kolaborasi dengan BKI dalam penyusunan draft panduan klasifikasi kapal berbahan komposit di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashby, M. F. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design* (4th ed.). Butterworth-Heinemann.
- BKI. (2023). *Rules for Classification and Construction Vol. III – Materials and Welding*. Biro Klasifikasi Indonesia.
- Braide, K. M., Nnuka, E. E., & Sekunowo, O. I. (2019). Corrosion behaviour of GFRP in simulated marine environment. *Journal of Minerals and Materials Characterization*, 7(4), 236–249.
- Davies, P. (2016). Environmental degradation of composites for marine structures. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 374(2071), 20150272.
- Mouritz, A. P., & Gibson, A. G. (2006). *Fire Properties of Polymer Composite Materials*. Springer.
- Oladele, I. O., Omotosho, T. F., & Adediran, A. A. (2020). Polymer-based composites: An indispensable material. *International Journal of Polymer Science*, 2020, Article 8834518.
- Shenoi, R. A., & Wellicome, J. F. (1993). *Composite Materials in Maritime Structures Vol. 1*. Cambridge University Press.
- Sutherland, L. S., & Soares, C. G. (2007). Review of probabilistic models of strength of composite materials. *Reliability Engineering & System Safety*, 56(3), 183–196.