

## Performa Kekuatan Lambung Kapal FRP di Galangan Kapal Rakyat UD Wahyu Asih Fiberglass, Kebumen

FRP Ship Hull Strength Performance at the UD Wahyu Asih Fiberglass People's  
Shipyard, Kebumen

Fasial Atthoriq<sup>1</sup>, Yopi Novita<sup>2</sup>, Tri Nanda Citra Bangun<sup>2✉</sup>

<sup>1</sup>Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Jawa Barat,  
Jln. Wastukencana No. 17, Babakan Ciamis, Kec. Sumur Bandung, Kota Bandung, Jawa Barat 40117

<sup>2</sup>Departemen Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,  
Institut Pertanian Bogor,

Jl. Agathis, Kampus IPB Darmaga-Bogor, 16680

✉correspondent author: [trinanda@apps.ipb.ac.id](mailto:trinanda@apps.ipb.ac.id)

### Abstrak

Galangan kapal rakyat UD Wahyu Asih Fiberglass telah memproduksi berbagai jenis kapal berbahan FRP, namun proses pembuatannya belum mengikuti standar konstruksi yang ditetapkan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dan masih mengandalkan pengalaman mandiri pemilik usaha. Selain itu, galangan ini belum memiliki pembuktian ilmiah terkait kekuatan struktur lambung kapal FRP yang dihasilkannya. Penelitian ini bertujuan mendeskripsikan tahapan pembuatan konstruksi kapal beserta material yang digunakan, serta menentukan nilai kekuatan material melalui uji tarik, uji tekan, dan modulus elastisitas pada struktur lambung kapal FRP. Pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur, observasi lapangan, pembuatan spesimen, dan pengujian sifat mekanik material, kemudian dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif-komparatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan yang dipakai dalam pembuatan kapal FRP mencakup resin Yukalac 235, gelcoat Yukalac G-123 T-EX, serat CSM300, WR600, WR800, serta aditif seperti katalis *Mepoxe*, *cobalt naphthanate*, *pyrogenic silica*, *talc*, pewarna *Matapel Unipol*, *miracle gloss*, minyak tanah, *ivory rubbing compound*, dan kit (*compound*). Proses konstruksi kapal dilakukan melalui dua tahap utama, yaitu pembuatan laminasi dan finishing, menggunakan teknik *hand lay-up*. Meskipun nilai kekuatan tarik telah memenuhi standar minimum BKI, nilai kekuatan tekan maupun modulus elastisitas yang diperoleh masih berada di bawah batas ketentuan yang ditetapkan BKI. Berdasarkan hasil penelitian ini, kapal yang dibuat di galangan kapal rakyat UD Wahyu Asih Fiberglass mampu menjadi rekomendasi untuk Kementerian Kelautan dan Perikanan dalam pengadaan kapal bantuan, jika meningkatkan nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitasnya.

Kata kunci: Galangan kapal, kapal FRP, kekuatan tarik dan tekan, material konstruksi kapal.

### Abstract

The UD Wahyu Asih Fiberglass community shipyard has produced various types of FRP ships; however, the manufacturing process does not adhere to the construction standards set by the Indonesian Classification Bureau (BKI) and still relies on the independent experience of the business owner. Additionally, this shipyard lacks scientific evidence regarding the strength of the FRP ship hull structures it produces. This study aims to describe the stages of ship construction and the materials used, as well as determine the value of material strength through tensile tests, compressive tests, and the elastic modulus of the FRP ship hull structure. Data collection was conducted through literature studies, field observations, specimen creation, and mechanical property testing of materials, and then analyzed using a descriptive-comparative approach. The results of the study showed that the materials used in the manufacture of FRP ships include Yukalac 235 resin, Yukalac G-123 T-EX gelcoat, CSM300, WR600, WR800 fibers, and additives such as Mepoxe catalyst, cobalt naphthanate, pyrogenic silica, talc, Matapel Unipol dye, miracle gloss, kerosene, ivory rubbing compound, and kit (compound). The ship construction process was carried out in two main stages: lamination and finishing, utilizing hand lay-up techniques. Although the tensile strength value has met the minimum BKI standard, the compressive strength and elastic modulus values obtained are still below the limits set by BKI. Based on the results of this study, ships built at the UD Wahyu Asih Fiberglass shipyard can be recommended to the Ministry of Maritime Affairs and Fisheries for the procurement of aid ships, provided that their tensile strength and elastic modulus are improved.

Keywords: Shipyard, FRP ship, tensile and compressive strength, ship construction materials.

## Pendahuluan

Pemanfaatan *Fiber Reinforced Plastics* (FRP) sebagai bahan utama konstruksi kapal telah berkembang pesat dan banyak diterapkan dalam pembuatan lambung kapal di berbagai galangan. Teknologi pembuatan kapal berbahan FRP kini telah dikuasai oleh galangan kapal rakyat melalui proses pembelajaran dan pengalaman langsung di lapangan. Banyak pengrajin yang kemudian mendirikan galangan kapal mandiri setelah memperoleh keahlian dari pengalaman kerja di galangan pembuat kapal FRP. Salah satu contohnya adalah UD Wahyu Asih Fiberglass yang dimiliki oleh Bapak Masikun, berlokasi di Desa Pasir, Kecamatan Ayah, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah.

Walaupun galangan tersebut telah memproduksi kapal FRP selama lebih dari 15 tahun, kekuatan konstruksi kapal yang dihasilkan belum pernah diuji secara ilmiah. Selama ini, kualitas kapal hanya dibuktikan melalui daya tahan operasional di lapangan. Kondisi ini menjadi kendala karena pemerintah memerlukan bukti ilmiah mengenai kekuatan kapal untuk melibatkan galangan dalam program pengadaan kapal nelayan. Tanpa verifikasi tersebut, galangan rakyat berisiko tidak mendapatkan kepercayaan dalam penyediaan kapal bantuan, dan nelayan cenderung tetap memilih kapal lokal yang telah terbukti ketahanannya. Peningkatan kepercayaan terhadap hasil produksi galangan rakyat dapat dilakukan melalui pembuktian ilmiah atas kekuatan struktur kapal FRP yang dibuat. Menurut Prayetno et al. (2016), mutu kapal yang baik berperan penting dalam menjamin keselamatan dan kenyamanan awak kapal. Sementara itu, Marzuki (2017) menegaskan bahwa lambung kapal berbahan FRP harus memiliki kekuatan memadai untuk menahan gaya gelombang serta benturan dari benda keras di perairan pesisir. Mengacu pada hal tersebut, perlu dilakukan penelitian terkait pengujian terhadap kekuatan struktur lambung kapal FRP yang dibuat di Galangan Kapal Rakyat UD Wahyu Asih Fiberglass. Pengujian kekuatan struktur lambung kapal diharapkan menjadi bukti ilmiah dari kekuatan dan ketahanan kapal FRP.

Penelitian ini memberikan manfaat berupa tersedianya informasi ilmiah mengenai kekuatan struktur lambung kapal FRP yang diproduksi oleh Galangan Kapal Rakyat UD Wahyu Asih Fiberglass. Informasi tersebut dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam pengajuan keterlibatan galangan tersebut pada program-program yang diselenggarakan pemerintah. Selain itu, hasil penelitian ini membuka peluang bagi galangan untuk memperluas jangkauan pemasaran kapal FRP buaatannya. Bagi pemerintah, khususnya Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) selaku instansi pengadaan kapal bantuan, penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam memilih galangan kapal yang layak dilibatkan

dalam program pengadaan. Para pengguna kapal FRP produksi UD Wahyu Asih Fiberglass juga memperoleh keyakinan lebih besar terhadap kualitas kapal yang mereka operasikan.

## Bahan dan Metode

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian diantaranya meteran, jangka sorong, *waterpass*, tali, *room temperature*, gayung, alat pengaduk, kuas, *roll* besi bergerigi, sarung tangan, gerinda, mesin *universal testing machine* (UTM) *Chun Yen* kapasitas 3 ton, dan kamera. Fungsi dan kegunaan dari alat yang digunakan adalah sebagai berikut: meteran digunakan untuk mengukur dimensi utama dari kapal FRP; jangka sorong berfungsi untuk mengukur dimensi dari spesimen laminasi lambung kapal FRP; *waterpass* berguna untuk memastikan bahwa pengukuran kapal dalam kondisi tegak lurus; tali digunakan sebagai alat bantu ukur kelengkungan badan kapal; *room temperature* merupakan aplikasi untuk mengukur suhu ruangan; gayung berguna sebagai wadah untuk mencampurkan resin dengan katalis; alat pengaduk berguna untuk mengaduk campuran resin dengan katalis; kuas digunakan untuk memberikan lapisan resin ke seluruh bagian serat kapal; *roll* besi bergerigi digunakan untuk menghilangkan udara serta merapatkan resin ke seluruh bagian serat; sarung tangan sebagai pelindung tangan saat membuat spesimen laminasi lambung kapal FRP; gerinda digunakan untuk memotong spesimen laminasi lambung kapal FRP; mesin *universal testing machine* (UTM) *Chun Yen* kapasitas 3 ton digunakan sebagai alat penguji kekuatan tarik, kekuatan tekan dan modulus elastisitas spesimen; dan kamera digunakan untuk mendokumentasikan proses aktivitas pembuatan kapal FRP.

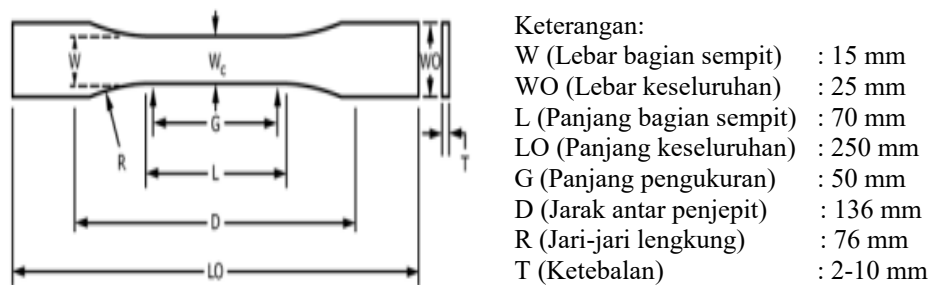
Adapun bahan untuk membuat spesimen uji diantaranya *mat*, *roving*, resin, katalis, triplek, dan *miracle gloss*. Fungsi dan kegunaan bahan yang digunakan yaitu: *mat* sebagai lapisan terluar laminasi lambung FRP, *roving* berfungsi sebagai penguat, resin digunakan sebagai perekat serat gelas sehingga menjadi lapisan rigid, katalis berfungsi untuk mempercepat proses pengerasan resin dalam membuat laminasi, triplek digunakan sebagai cetakan dalam membuat spesimen, dan *miracle gloss* digunakan untuk memudahkan pelepasan dari cetakan.

### Prosedur Penelitian

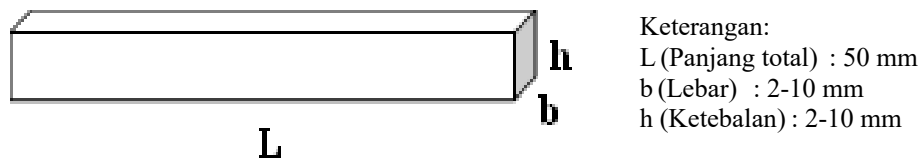
Kegiatan penelitian ini terdiri atas tiga tahap utama, yaitu: 1) Observasi proses pembuatan konstruksi lambung kapal FRP, untuk memperoleh gambaran nyata tentang teknik, metode, dan urutan kerja yang diterapkan di galangan. 2) Pembuatan spesimen uji,

dilakukan dengan meniru struktur laminasi kapal FRP yang dibuat oleh galangan UD Wahyu Asih Fiberglass. 3) Pengujian kekuatan spesimen laminasi, meliputi uji tarik (*tensile test*) dan uji tekan (*compressive test*) guna memperoleh nilai sifat mekanik utama, seperti kuat tarik, kuat tekan, regangan maksimum, dan modulus elastisitas.

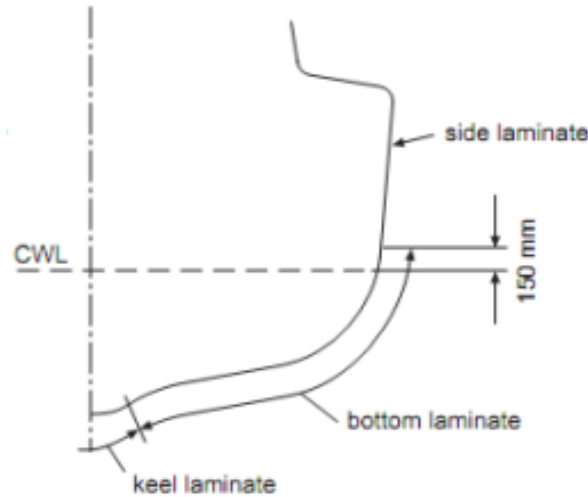
Penggunaan jumlah spesimen ditetapkan berdasarkan acuan standar minimum pengujian menggunakan standar ASTM, yaitu sebanyak 8-10 spesimen. Untuk memperoleh data yang lebih akurat, digunakan lebih dari 10 spesimen. Sehingga pada penelitian ini menggunakan sebanyak 36 spesimen untuk pengujian, terdiri dari 18 spesimen untuk uji tarik (Gambar 1) dan 18 spesimen untuk uji tekan (Gambar 2). Desain spesimen uji dibuat sesuai standar ASTM D638-14 untuk pengujian tarik dan ASTM D695-15 untuk pengujian tekan. Setiap spesimen disesuaikan dengan posisi laminasi pada bagian lambung kapal FRP, sehingga hasil uji mewakili kondisi aktual material kapal (Gambar 3).



Gambar 1. Desain spesimen uji tarik sesuai dengan ASTM D638-14



Gambar 2. Desain spesimen uji tekan sesuai dengan ASTM D695-15



Gambar 3. Posisi laminasi lambung kapal FRP

### Proses Pembuatan Konstruksi Kapal

Langkah pertama adalah dengan mengikuti seluruh tahapan proses pembuatan kapal FRP untuk mendapatkan proses, metode dan material yang digunakan saat pembuatan kapal, khususnya bagian lambung kapal. Langkah kedua adalah mengukur dimensi utama kapal FRP yang dibuat oleh Galangan Kapal Rakyat UD Wahyu Asih *Fiberglass*. Langkah ketiga adalah menghitung *gross tonnage* (GT) berdasarkan Keputusan DIRJEN PERLA No. PY.67/1/16-02.

$$V = L_{dek} \times B_{max} \times D \times f ; f = 0,70 \quad (1)$$

$$GT = 0,25 \times V \quad (2)$$

Dimana:

$L_{dek}$  = panjang dek kapal

$B_{max}$  = lebar maksimum kapal

$D$  = tinggi kapal

$f$  = faktor penentu bentuk penampang melintang kapal

### Pengujian Kekuatan Teknis Konstruksi Lambung Kapal FRP

Perhitungan nilai *tensile strength*, *compressive strength (fracture)*, *fracture strain*, *compressive strain*, dan *modulus of elasticity* dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Surdia dan Saito 1999) dalam (Marantika *et al.* 2022).

$$\sigma = \frac{P}{bxh} = \frac{P}{A_o} \quad (3)$$

$$\sigma_p = \frac{P}{bxh} = \frac{P}{A_o} \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} \times 100\% = \frac{\Delta l}{l_o} \times 100\% \quad (5)$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (6)$$

Dimana:

$\sigma$  = Kuat tarik (MPa)

$\sigma_p$  = Kuat tekan (MPa)

$\varepsilon$  = Regangan maksimum (%)

E = Modulus elastisitas tarik (MPa)

P = *Breaking load* (N)

b = Lebar spesimen (mm)

h = Tebal spesimen (mm)

Ao = Luas penampang awal (mm<sup>2</sup>)

lo = Panjang awal (mm)

li = Panjang akhir (mm)

$\Delta l$  = Besar *elongation* spesimen (mm)

### Tahapan Analisis

Analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis deskriptif dan analisis komparatif. Analisis deskriptif digunakan pada proses pembuatan kapal FRP. Analisis ini bertujuan memberikan gambaran rinci mengenai seluruh tahapan pembuatan kapal FRP, mulai dari proses laminasi, komposisi bahan, hingga tahap finishing. Penjabaran ini juga mencakup perbandingan antara metode yang diterapkan di galangan dengan standar industri yang berlaku. Pada analisis komparatif digunakan pada pengujian kekuatan teknis terhadap standar BKI. Perbandingan dilakukan untuk menilai kesesuaian hasil uji laboratorium terhadap batas minimum yang ditetapkan oleh BKI (2022). Pengujian di laboratorium dikondisikan dalam suhu dan kelembapan yang terkontrol. Suhu yang digunakan adalah 25°C, sedangkan kelembapan relatif menggunakan 55%. Spesimen dikondisikan 40 jam sebelum dilakukan pengujian sesuai dengan prosedur ASTM D618 untuk memastikan keseragaman kondisi lingkungan.

Parameter yang dibandingkan mencakup: ketebalan lapisan laminasi; panjang galar (*girder*); jarak antar gading (*frame spacing*); dan lebar minimum laminasi lunas (*keel laminate width*). Nilai hasil uji kemudian diklasifikasikan untuk menentukan apakah kapal FRP yang diproduksi oleh UD Wahyu Asih Fiberglass telah memenuhi persyaratan teknis sesuai pedoman BKI. Adapun perhitungan untuk membandingkan dengan standar BKI sebagai berikut:

## 1. Ketebalan Laminasi:

$$t = \frac{W \times f}{\rho_f} \quad (7)$$

Dimana:

 $W$  = berat serat penguat per satuan luas ( $\text{g/m}^2$ ), $\rho_f$  = kerapatan serat ( $2,6 \text{ g/cm}^3$  untuk E-glass), $\rho_r$  = kerapatan resin ( $1,2 \text{ g/cm}^3$  untuk polyester resin), $f$  = fraksi massa serat (matt laminate = 0,30; woven roving laminate = 0,50).2. Panjang Galar (*Girder*):

$$L_g = f(\text{LOA}, \text{LWL}) \quad (8)$$

Dimana:

LOA = panjang keseluruhan kapal

LWL = panjang garis air.

3. Jarak Antar Gading (*Frame Spacing*):

$$S_f = \frac{\text{LOA}}{n} \quad (9)$$

Dimana:

 $S_f$  = jarak antar gading $n$  = jumlah total gading pada satu sisi kapal.4. Lebar Minimum Laminasi Lunas (*Keel Laminate Width*):

$$B_k = f(h, D) \quad (10)$$

Dimana:

 $h$  = ketebalan laminasi $D$  = kedalaman kapal.

Nilai hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan batas minimum sifat mekanik laminasi dasar menurut BKI (2022), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1:

Tabel 1. Batas minimum sifat mekanik laminasi acuan standar BKI

Sifat Mekanik	Simbol	Nilai Minimum (MPa)
Kekuatan tarik (fracture)	$\sigma_zB$	85
Modulus elastisitas (tarik)	EZ	6350
Kekuatan tekan (fracture)	$\sigma_dB$	117

(Sumber: BKI, 2022)

## Hasil dan Pembahasan

### Profil Galangan Kapal

UD Wahyu Asih Fiberglass merupakan galangan kapal rakyat yang dikelola secara mandiri oleh Bapak Masikun dan berdiri sejak tahun 2007. Galangan ini tidak hanya memproduksi kapal untuk nelayan lokal Kabupaten Kebumen, tetapi juga melayani pesanan dari wilayah lain seperti Tegal, Yogyakarta, Banyuwangi, Puger (Jember), dan Lombok. Produksi galangan mencapai rata-rata 15 unit kapal FRP per bulan, dengan ukuran bervariasi antara 9,70–11,50 m (LOA), 1,02–1,20 m (B), dan 0,70–0,80 m (D).

Desain kapal yang dibuat di galangan ini disesuaikan dengan permintaan serta kebutuhan nelayan setempat. Karena telah memahami kondisi perairan dan kebiasaan operasional nelayan, pihak galangan mampu menyesuaikan desain kapal agar tetap efisien dan aman. Dimensi utama kapal nelayan Kebumen disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi utama kapal FRP nelayan Kebumen

Dimensi Utama	Ukuran
LOA	10,00 m
LWL	9,00 m
Bmax	1,20 m
Bmoulded	1,02 m
D	0,80 m
d	0,38 m

Perhitungan menurut Keputusan Dirjen Perla No. PY.67/1/16-02 menunjukkan bahwa kapal FRP hasil produksi galangan ini memiliki ukuran 1,06 GT (<3 GT). Kapal umumnya dilengkapi katir di kedua sisi dan menggunakan mesin tempel sebagai penggerak utama. Nelayan yang menggunakan kapal tersebut umumnya mengoperasikan alat tangkap pancing rawai dan jaring insang (*gillnet*).

### Material Pembuatan Kapal FRP

Material yang digunakan dalam proses pembuatan kapal FRP diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Resin, berperan sebagai bahan pengikat serat gelas pada struktur laminasi sehingga menghasilkan material yang kuat dan kaku. Jenis resin yang digunakan adalah polyester resin Yukalac 235, tipe orthophthalic, bersifat thixotropic, pre-accelerated, dan non-wax. Resin ini termasuk kategori cepat kering, namun belum tersertifikasi BKI.

2. Gelcoat, merupakan lapisan pelindung luar yang memberikan ketahanan terhadap air, abrasi, dan perubahan cuaca. Jenis gelcoat yang digunakan adalah Yukalac G-123 T-EX, yang telah tersedia sertifikasi BKI. Menurut Siregar et al. (2017), penggunaan gelcoat berfungsi menjaga permukaan kapal agar tahan retak serta meningkatkan daya tahan fisik material.
3. *Reinforcement* (Serat Penguat), digunakan untuk memperkuat struktur laminasi dan meningkatkan kekakuan material. UD Wahyu Asih Fiberglass menggunakan kombinasi Chopped Strand Mat (CSM300) dan Woven Roving (WR600 dan WR800).  
Kedua material tersebut telah memenuhi standar sertifikasi BKI dan berfungsi menambah ketahanan terhadap beban tarik serta tekanan mekanik.
4. Aditif, memiliki beberapa bahan tambahan yang digunakan meliputi:
  - a. Katalis (*Mepoxe/MEKP*) digunakan untuk mempercepat proses pengerasan resin;
  - b. Akselerator (*Cobalt Napthanate*) dapat membantu mempercepat reaksi curing resin pada suhu ruang (Ardhy et al. 2019);
  - c. Aerosil (*Pyrogenic Silica*) yang digunakan sebagai bahan pengisi untuk menciptakan hasil laminasi yang lebih halus dan mengkilap;
  - d. Talc berfungsi sebagai bahan dempul yang memperkuat hasil akhir campuran resin (Imron et al. 2018);
  - e. Pigmen Warna (*Matapel Unipol*): memberi warna pada lapisan terluar fiberglass;
  - f. *Miracle Gloss*: digunakan sebagai *mold release wax* untuk mencegah bahan menempel pada cetakan (Marzuki 2017);
  - g. Minyak tanah: dicampurkan untuk melarutkan *miracle gloss*;
  - h. Compound dan Kit: digunakan dalam proses *polishing* untuk menghaluskan dan memberikan kilau pada permukaan cat.

### **Proses Pembuatan Kapal FRP**

Metode yang digunakan oleh galangan adalah hand lay-up, yaitu teknik laminasi manual menggunakan rol dan kuas untuk menumpuk lapisan serat dan resin secara berulang hingga mencapai ketebalan tertentu. Proses ini terbagi menjadi beberapa tahap:

1. Persiapan Alat dan Bahan: Peralatan yang digunakan mencakup ember, kuas, roll busa, roll bergerigi, cutter, papan kayu, dan kain pelapis. Sebelum proses dimulai, bahan

seperti resin, katalis, dan reinforcement diperiksa ketersediaannya. Serat (CSM dan WR) dipotong sesuai kebutuhan posisi laminasi. Campuran gelcoat dan pyrogenic silica disiapkan dengan perbandingan 4:1 (20 kg gelcoat : 5 kg pyrogenic silica), sedangkan menurut SNI 8961:2021, rasio ideal adalah 20:1, sehingga perbedaan komposisi ini dapat memengaruhi kekuatan laminasi.

2. Pembersihan Cetakan dan Pengolesan Miracle Gloss: Cetakan dibersihkan dari debu dan kotoran sebelum digunakan. Miracle gloss dicampur dengan minyak tanah agar lebih cair, kemudian dioleskan secara merata pada permukaan cetakan untuk mempermudah pelepasan hasil laminasi.
3. Pelapisan Gelcoat: Setelah adonan siap, ditambahkan pigmen warna *Matapel Unipol* dengan rasio 14:1 (adonan : pigmen), berbeda dari ketentuan SNI 8961:2021 sebesar 7:1. Selanjutnya ditambahkan katalis Mepoxe sebanyak 2,96%, sedikit di atas batas 0,5–2,5% yang direkomendasikan oleh SNI. Menurut Rahmawaty et al. (2021), kelebihan katalis dapat mempercepat pengerasan tetapi juga meningkatkan risiko getas pada hasil akhir. Lapisan gelcoat diaplikasikan dengan ketebalan 0,5 mm, sesuai standar BKI (2022) yang mensyaratkan 0,4–0,6 mm.
4. Proses Laminasi: Lapisan serat dan resin diaplikasikan berulang dengan pola kombinasi CSM dan WR sesuai posisi kapal. Komposisi resin Yukalac 235 dan katalis Mepoxe adalah 1 : 0,0296, sedikit lebih tinggi dibandingkan ketentuan SNI 8961:2021 (1 : 0,008–0,02). Proses laminasi menghasilkan susunan seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi material proses laminasi:

Posisi	Material	Jumlah Lapisan (Galangan)	Jumlah Lapisan (SNI 8793:2019)
Side plate	G + CSM300 + WR600 + 2CSM300	4	3
Bottom plate	G + CSM300 + WR800 + CSM300 + WR800 + CSM300	5	6
Keel plate	G + 2CSM300 + WR800 + CSM300 + WR800 + 2CSM300	7	6

keterangan: G = Gelcoat; CSM = Chopped Strand Mat; WR = Woven Roving

Setiap lapisan dipadatkan menggunakan roll busa dan roll besi bergerigi untuk mengeluarkan udara dan memastikan distribusi resin merata. Menurut McVeagh et al. (2010), proses penggabungan material yang dilakukan dengan benar dapat menghasilkan laminasi dengan kekuatan, kekakuan, dan ketahanan tinggi terhadap pengaruh air laut.

5. Pelepasan Hasil Cetakan (Releasing): Proses pengeringan dilakukan selama 16 jam pada suhu ruang  $24,5^{\circ}\text{C}$ – $26^{\circ}\text{C}$ . Standar BKI (2022) mensyaratkan waktu minimum 12 jam pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$ . Setelah kering, lambung dilepaskan secara hati-hati dari cetakan dengan bantuan air untuk memisahkan kedua permukaan, kemudian diangkat oleh 6–8 pekerja ke area perakitan rangka.

## Kekuatan Konstruksi Kapal FRP

### 1. Pengamatan Umum terhadap Struktur Laminasi

Hasil observasi pada kapal FRP nelayan di Kabupaten Kebumen menunjukkan adanya variasi jumlah lapisan laminasi pada bagian lambung kapal, yakni 4 lapis pada sisi (side), 5 lapis pada bagian bawah (bottom), dan 7 lapis pada bagian lunas (keel). Berdasarkan pengukuran berat spesimen berukuran  $25 \times 25$  cm yang diambil dari masing-masing bagian, diperoleh berat berturut-turut 239,00 g (side), 374,00 g (bottom), dan 479,00 g (keel). Hasil ini dibandingkan dengan penelitian Dewi (2019) terhadap kapal FRP nelayan Cilacap, yang menunjukkan berat spesimen 329,63 g (side) dan 561,44 g (bottom dan keel). Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa kapal FRP asal Kebumen memiliki berat lebih ringan, yang berpotensi mempengaruhi kekuatan dan stabilitas struktur laminasinya.

### 2. Analisis Dimensi Struktural Kapal FRP

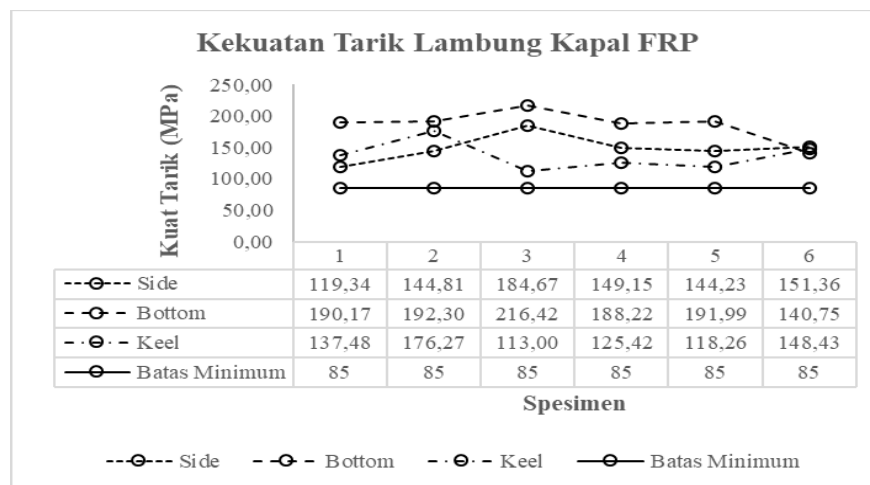
- a. Panjang Galar (*Girder*): hasil perhitungan menggunakan rumus (8) menunjukkan panjang galar yang direkomendasikan adalah 9,10 m, sedangkan hasil pengukuran aktual kapal produksi UD Wahyu Asih Fiberglass hanya 8,40 m. Jumlah galar yang dipasang sebanyak empat buah dengan jarak antar galar 400 mm. Perbedaan panjang ini dapat berpengaruh terhadap kekakuan dan daya dukung struktur kapal secara keseluruhan.
- b. Jarak Antar Gading (*Frame Spacing*): Kapal dilengkapi 12 gading pada masing-masing sisi dengan jarak antar gading 600 mm dan ketebalan 50 mm. Nilai ini jauh lebih besar dibandingkan jarak yang direkomendasikan oleh rumus (9), yaitu 359,10 mm. Gading-gading tersebut dihubungkan oleh *wrang* yang memiliki jarak serupa. Menurut kaidah desain struktural, jarak antar gading yang terlalu besar dapat menurunkan ketahanan terhadap deformasi lateral.
- c. Lebar Minimum Laminasi Lunas (*Keel Laminate Width*): Lunas berfungsi sebagai sumbu utama yang menjaga integritas struktur kapal selama berlayar. Berdasarkan rumus (10), lebar minimum laminasi lunas yang disarankan adalah 527,50 mm, sedangkan hasil pengukuran menunjukkan 550 mm. Artinya, dimensi lunas yang

diterapkan galangan sudah memenuhi dan sedikit melampaui standar BKI, sehingga dianggap aman secara struktural.

## Kekuatan Pengujian Mekanik

### 1. Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik menggambarkan kemampuan struktur laminasi dalam menahan gaya yang bekerja memanjang sebelum material mengalami patah. Hasil uji menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik berfluktuasi antar spesimen (Gambar 4), dengan nilai tertinggi: Side: 184,67 MPa (Spesimen 3), Bottom: 216,42 MPa (Spesimen 3), Keel: 176,27 MPa (Spesimen 2). Sedangkan nilai terendah diperoleh pada spesimen: Side: 119,34 MPa (Spesimen 1), Bottom: 140,75 MPa (Spesimen 6), Keel: 113,00 MPa (Spesimen 3).



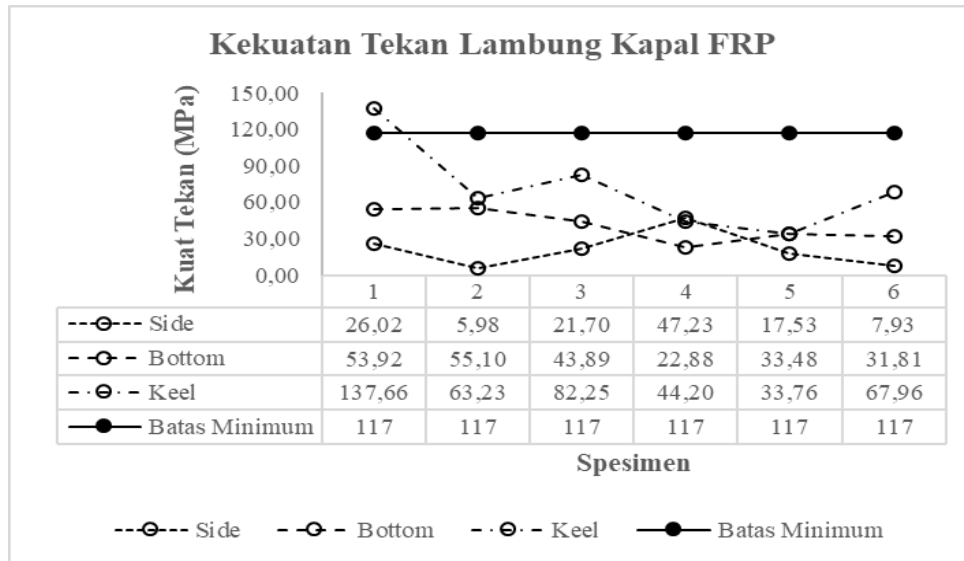
Gambar 4. Pengujian kekuatan tarik lambung kapal

Seluruh nilai tersebut telah memenuhi batas minimum BKI (85 MPa). Nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi diperoleh pada bagian *bottom* sebesar 186,64 MPa, diikuti *side* 148,93 MPa, dan *keel* 136,48 MPa. Menurut Alfissin et al. (2019), peningkatan jumlah lapisan tidak selalu berbanding lurus dengan kenaikan kekuatan tarik; jenis serat dan pola laminasi justru berperan lebih signifikan terhadap peningkatan kekuatan material. Nilai regangan rata-rata tercatat sebesar 3,65% (*side*), 6,05% (*bottom*), dan 4,43% (*keel*).

### 2. Kekuatan Tekan (*Compressive Strength*)

Uji tekan dilakukan untuk mengukur kemampuan material menahan gaya tekan sebelum mengalami deformasi permanen. Hasil pengujian menunjukkan variasi nilai pada tiap posisi, dengan kekuatan tekan (Gambar 5) tertinggi: *side* sebesar 47,23 MPa

(Spesimen 4), *bottom* sebesar 55,10 MPa (Spesimen 2), dan *keel* sebesar 137,66 MPa (Spesimen 1). Sedangkan nilai terendah tercatat pada: *Side*: 5,98 MPa (Spesimen 2), *Bottom*: 22,88 MPa (Spesimen 4), dan *Keel*: 33,76 MPa (Spesimen 5).

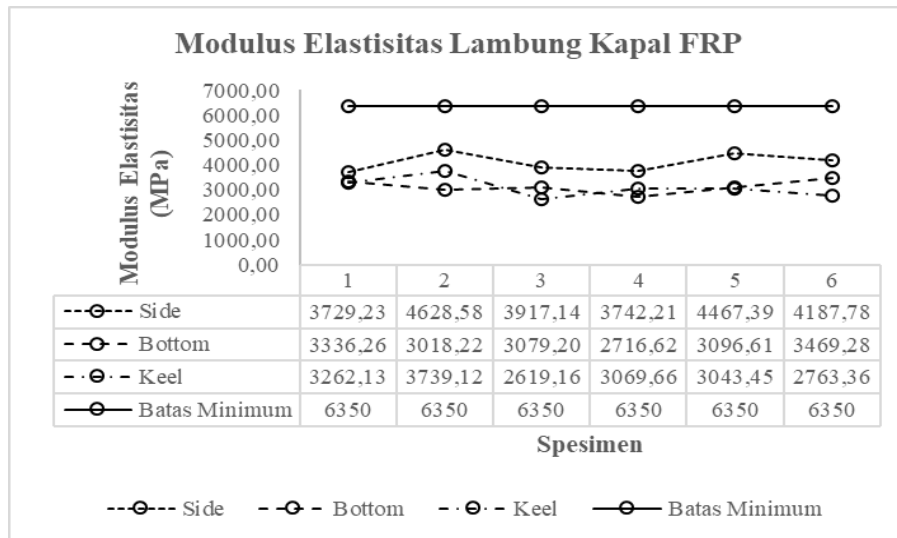


Gambar 5. Pengujian kekuatan tekan lambung kapal

Sebagian besar nilai hasil uji belum memenuhi batas minimum BKI (117 MPa), kecuali beberapa spesimen pada bagian keel yang sudah melampaui batas tersebut. Rata-rata kekuatan tekan tertinggi diperoleh pada *keel* (71,51 MPa), diikuti *bottom* (40,18 MPa), dan *side* (21,06 MPa). Nilai regangan rata-rata tercatat 0,86% (*side*), 1,57% (*bottom*), dan 1,84% (*keel*). Nilai yang diperoleh cenderung lebih kecil dibandingkan dengan hasil pengujian pada penelitian lainnya. Mengacu pada Chellapa (2019) pengujian kekuatan tekan pada komposit fiberglass diperoleh nilai uji tekan berkisar antara 100-180 MPa. Chen dan Soares (2007) mencatat nilai uji tekan pada struktur lambung kapal FRP diperoleh 130-200 MPa. Nilai yang tidak memenuhi standar BKI ini akan berpengaruh terhadap kemampuan kapal untuk menahan beban dalam operasional kapal, seperti kemampuan terhadap tekanan air alut, gelombang dan beban terhadap struktural dan lambung kapal.

### 3. Modulus Elastisitas (*Elastic Modulus*)

Modulus elastisitas menunjukkan sejauh mana material dapat kembali ke bentuk semula setelah mengalami pembebanan. Hasil uji (Gambar 6) menunjukkan nilai tertinggi pada: *side* sebesar 4628,58 MPa (Spesimen 2), *bottom* sebesar 3469,28 MPa (Spesimen 6), dan *keel* sebesar 3739,12 MPa (Spesimen 2). Sementara nilai terendah tercatat pada: bagian *side* sebesar 3729,23 MPa, *bottom* sebesar 2716,62 MPa, dan *keel* sebesar 2619,16 MPa.



Gambar 6. Pengujian modulus elastisitas lambung kapal

Nilai rata-rata modulus elastisitas diperoleh sebesar 4112,06 MPa (*side*), 3119,36 MPa (*bottom*), dan 3082,81 MPa (*keel*). Semua hasil tersebut masih belum memenuhi standar minimum BKI sebesar 6350 MPa. Nilai rata-rata modulus elastisitas ini juga cenderung lebih rendah dibandingkan hasil penelitian Chellapa (2019) dan Soares dan Chen (2007). Chellapa (2019) mencatat nilai kisaran modulus berkisar antara 7000-12000 MPa, sementara Chen dan Soares (2007) memperoleh nilai rata-rata sebesar 9000-18000 MPa. Menurut Kiswadi (2017), semakin tinggi nilai modulus elastisitas, semakin kaku suatu material dan semakin kecil perubahan bentuk yang terjadi ketika diberi beban. Faktor-faktor yang mampu mempengaruhi nilai modulus elastisitas yang lebih rendah dibandingkan standar BKI diantaranya adalah material yang digunakan cenderung memiliki kekakuan yang lebih rendah, kualitas laminasi yang digunakan cenderung memiliki serat yang lebih sedikit, dan distribusi resin yang tidak merata, serta adanya gelembung udara yang terperangkap pada saat laminasi kapal. Selain itu galangan kapal tradisional cenderung menggunakan metode pembuatan yang lebih sederhana, yaitu metode *hand lay-up* dan cenderung memberikan nilai modulus elastisitas yang lebih rendah dibandingkan metode *vacuum infusion*.

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai kekuatan konstruksi lambung kapal FRP di Galangan Kapal Rakyat UD Wahyu Asih Fiberglass, dapat ditarik dua simpulan sebagai berikut:

1. Material dan Proses Pembuatan Kapal FRP Galangan menggunakan bahan utama berupa resin Yukalac 235, gelcoat Yukalac G-123 T-EX, serat CSM300, WR600, WR800, serta aditif katalis Mepoxe, Cobalt Napthanate, Pyrogenic Silica, Talc, pigmen Matapel

Unipol, Miracle Gloss, minyak tanah, Ivory Rubbing Compound, dan Kit. Proses pembuatan dilakukan dengan metode hand lay-up, yang terdiri dari dua tahap besar yaitu pembuatan laminasi dan proses finishing.

2. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekuatan tarik mencapai 148,93 MPa (*side*), 186,64 MPa (*bottom*), dan 136,48 MPa (*keel*) dan seluruhnya telah memenuhi standar minimum BKI ( $\geq 85$  MPa). Nilai rata-rata kekuatan tekan sebesar 21,06 MPa (*side*), 40,18 MPa (*bottom*), dan 71,51 MPa (*keel*), namun sebagian belum memenuhi standar BKI (117 MPa). Nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 4112,06 MPa (*side*), 3119,36 MPa (*bottom*), dan 3082,81 MPa (*keel*), namun seluruhnya masih di bawah batas BKI (6350 MPa).

Secara umum, struktur laminasi kapal FRP produksi UD Wahyu Asih Fiberglass telah memiliki kekuatan tarik yang memadai, namun masih perlu peningkatan pada aspek kekuatan tekan dan elastisitas agar sepenuhnya memenuhi standar kelayakan konstruksi BKI.

### Daftar Pustaka

- [BKI] Biro Klasifikasi Indonesia. 2022. *Guidance for FRP and Wooden Fishing Vessel up to 24 M Consolidated Edition 2022*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Alfissin S, Yuliadi MZ, Wahyudi D. 2019. Pengaruh susunan serat laminasi fiberglass terhadap kekuatan tarik dan tekuk material menggunakan variasi chopped standart mat dan woven roving. *J Midsh*. 2(2):20–23.
- Ardhy S, Putra ME, Islahuddin. 2019. Pembuatan kapal nelayan fiberglass Kota Padang dengan metode hand lay up. *Rang Tek J*. 2(1):143–147. doi:10.31869/rtj.v2i1.1103.
- Chellappa S. 2019. Experimental investigation of ship hull structure by composite material. *Internasional Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 10(11):416-422.
- Chen NZ, Soares CG. 2007. Longitudinal strength analysis of ship hulls of composite materials under sagging moments. *Composite Structure*. 77(1):36:44.
- Dewi RC. 2019. Unjuk kerja gerakan heaving kapal bantuan pemerintah dan keberhasilan operasionalnya, sebagai dampak keberadaan muatan [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Imron M, Soeboer DA, Ramadhoni R. 2018. Analisis tekno-ekonomi laminasi kapal psp 01 di Palabuhan Ratu, Jawa Barat. *ALBACORE*. 2(3):315–332. doi:10.29244/core.2.3.315-332.
- Kiswadi. 2017. Kekuatan tarik komposit lamina berbasis anyaman serat karung plastik bekas (woven bag) [skripsi]. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Marantika MT, Sujana I, Ivanto M. 2022. Analisa uji tarik komposit berpenguat serat daun nanas dengan variasi susunan menggunakan perlakuan alkali. *J Teknol Rekayasa Tek Mesin*. 3(1):62–68.

- Marzuki I. 2017. Kajian standarisasi laminasi struktur konstruksi lambung kapal ikan fiberglass 3 GT [tesis]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- McVeagh J, Anmarkrud T, Gulbrandsen Ø, Ravikumar R, Danielsson P, Gudmundsson A. 2010. *Training Manual On The Construction Of FRP Beach Landing Boats*. Roma: FAO.
- Prayetno E, Nugraha S, Risandi DP. 2016. Analisis quality control di galangan kapal tradisional-studi kasus Pulau Bintan. *J Sustain.* 5(02):1–5. doi:10.31629/sustainable.v5i2.366.
- Rahmawaty SA, Parmita AWYP, Laksono AD. 2021. Analisa kekuatan tarik dan tekuk pada komposit fiberglas-polyester berpenguat serat gelas dengan variasi fraksi volume serat. *J Tek Mesin-ITI.* 5(3):146–155. doi:10.31543/jtm.v5i3.685.
- Siregar ICR, Yudo H, Kiryanto. 2017. Analisa kekuatan tarik dan tekuk pada sambungan pipa baja dengan menggunakan kanpe clear nf sebagai pengganti las. *J Tek Perkapalan.* 5(4):716–725.