

## Simulasi Pengujian Konstruksi Fiberglass Pada Lambung Kapal

Shahrin Febrin<sup>1\*</sup>, Ayom Buwono<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dosen Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Universitas Darma Persada,

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Universitas Darma Persada  
Jalan Taman Malaka Selatan No.22, Pondok Kelapa, Duren Sawit, DKI Jakarta, Indonesia 13450

\*Koresponden : [shahrin\\_febrin@fik.unsada.ac.id](mailto:shahrin_febrin@fik.unsada.ac.id)

### Abstrak

Sebagai negara maritim, Indonesia sangat bergantung pada kapal sebagai alat transportasi dan pengangkutan yang ekonomis. Kapal-kapal yang dipergunakan selama ini, awalnya berasal dari kayu. Namun dikarenakan kayu memiliki sifat yang rentan dikarenakan faktor cuaca dan memerlukan perawatan yang tepat, maka muncullah material fiberglass dalam bentuk lapisan Fiber Reinforced Plastics (FRP) sebagai material substitusi dari kayu. FRP mempunyai banyak kelebihan dibandingkan kayu, yang mana kapal dengan material FRP mulai digunakan dalam dunia rancang bangun kapal. Tapi sekitar tahun 2009 hasil sebuah survei dari sejumlah galangan mengungkapkan bahwa rancangan konstruksi dan proses pelapisan lambung kapal berbasis FRP sebagian besar tidak mempunyai standar aplikasi yang jelas, sehingga mengakibatkan resiko kecelakaan yang tinggi. Dalam rangka meminimalisir angka kecelakaan, diadakan simulasi pengujian konstruksi fiberglass dengan sampel yang diambil dari 6 galangan kapal dimana masing-masing sampel memiliki konfigurasi dan material yang berbeda, dan hasilnya Carbon Fiber memberikan hasil yang optimal.

**Kata kunci:** Kapal; FRP; laminasi; pengujian; standar

### 1. Pendahuluan

Perahu kayu telah digunakan selama bertahun-tahun. Namun, kayu membutuhkan perawatan yang baik karena sifatnya yang mudah lapuk karena bahan kimia dan cuaca. Kapal yang terbuat dari fiberglass (FRP) mulai mendapat tempat di industri perkapalan, terutama di kalangan produsen kapal, karena kelebihan yang dimiliki FRP dibandingkan dengan kayu. Namun, karena tingkat kecelakaan kapal fiberglass yang tinggi, survei yang dilakukan pada tahun 2009 menunjukkan bahwa desain konstruksi dan proses laminasi lambung kapal fiberglass pada umumnya tidak memiliki standar yang jelas. Hal ini meningkatkan resiko kecelakaan. Akibatnya, penulis ingin membahas fiberglass sebagai pengganti kayu dalam pembuatan lambung kapal lebih lanjut. Diharapkan pembahasan ini akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang manfaat dan masalah penggunaan fiberglass dalam industri perkapalan dengan membahas aspek keramahan lingkungan dan keamanan saat digunakan di lapangan. Selain itu, penulis menguraikan topik yang akan dipelajari dari penjelasan latar belakang di atas, termasuk serat itu sendiri, proses pengolahan dan pemanfaatannya, dan standar pengujian yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan keselamatan yang telah ditetapkan.

### 2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan metodologi eksploratif dan deskriptif dalam penulisan laporan karena penelitian ini hanya terdiri dari simulasi pengujian sampel.

Data untuk penelitian ini dikumpulkan melalui wawancara, literatur, dan internet. Diagram alir penelitian dapat dilihat di bawah ini untuk lebih jelasnya:

#### 1. Identifikasi Masalah

- Memahami masalah penggunaan kayu pada kapal dan transisi ke fiberglass.
- Mengidentifikasi kebutuhan akan standar dan pengujian keselamatan untuk kapal fiberglass.

#### 2. Studi Literatur

- Teliti literatur yang relevan tentang fiberglass, pemrosesan, dan aplikasinya dalam industri perkapalan.
- Mempelajari standar pengujian yang ada (lokal dan internasional).

#### 3. Pengumpulan Data

- **Wawancara:** Mengumpulkan informasi dari para ahli dan praktisi dalam industri perkapalan dan pembuatan kapal fiberglass.
- **Studi Internet:** Mengakses informasi terbaru dari sumber online yang dapat diandalkan.

4. **Simulasi Pengujian Sampel**
  - o Melakukan pengujian simulasi sampel fiberglass untuk memahami proses dan hasil yang diharapkan.
  - o Melakukan uji tarik, uji tekuk, dan uji lainnya sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.
5. **Analisis Data**
  - o Menganalisis data yang dikumpulkan dari literatur, wawancara, dan simulasi pengujian.
  - o Membandingkan hasilnya dengan standar yang ada untuk mengevaluasi keandalan dan keamanan fiberglass sebagai bahan lambung kapal.
6. **Kesimpulan dan Rekomendasi**
  - o Simpulkan temuan penelitian tentang keuntungan dan kerugian menggunakan fiberglass.
  - o Memberikan rekomendasi mengenai penerapan fiberglass dalam industri perkapalan dan peningkatan standar pengujian.

Diagram alir ini membantu memvisualisasikan langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Dengan mengikuti alur tersebut, penelitian diharapkan dapat memberikan hasil yang komprehensif dan bermanfaat bagi industri perkapalan yang menggunakan fiberglass sebagai bahan utama.

### 3. Landasan Teori

Fiberglass, juga disebut sebagai serat kaca, dibuat dengan melelehkan kaca menjadi serat tipis dengan diameter antara 0,005 mm dan 0,01 mm. Serat ini dapat digunakan untuk membuat benang atau kain, yang kemudian diolah dengan resin untuk membuat bahan yang tahan lama dan tahan terhadap korosi. Banyak orang menggunakan bahan ini untuk laminasi bodi mobil, membangun kapal, tangki, dan banyak aplikasi lainnya. Dalam pembuatan elemen berlapis atau komposit, fiberglass adalah komponen utama yang digunakan. Istilah Glass Reinforced Plastic (FRP) dan Glass Reinforced Epoxy (GRE) adalah istilah yang sering disebut secara umum sebagai fiberglass. Fiberglass memiliki banyak keuntungan, termasuk:

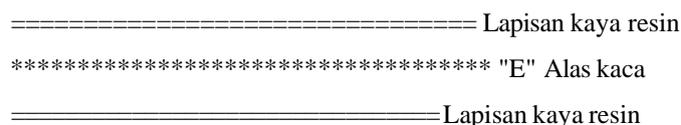
1. **Kekuatan Tinggi:** Serat kaca memberikan kekuatan mekanis yang tinggi, membuatnya sangat cocok untuk aplikasi struktural.
2. **Tahan Korosi:** Fiberglass tidak mudah terpengaruh oleh cuaca atau bahan kimia, sehingga memiliki masa pakai yang lama.
3. **Ringan:** Lebih ringan daripada banyak bahan konstruksi tradisional, seperti logam atau kayu.
4. **Fleksibilitas Desain:** Fiberglass dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan ukuran, memberikan fleksibilitas dalam desain produk akhir.
5. **Isolasi Listrik:** Bahan ini memiliki sifat isolasi listrik yang baik, sehingga juga digunakan dalam aplikasi elektronik.

Penggunaan fiberglass dalam komposit, seperti FRP dan GRE, meningkatkan sifat mekanik dan daya tahannya, sehingga menjadikannya pilihan populer di berbagai industri, termasuk otomotif, perkapalan, dan konstruksi.

Benar, material komposit terdiri dari dua atau lebih material berbeda yang digabungkan untuk menghasilkan material dengan sifat yang lebih unggul dibandingkan dengan material penyusunnya secara individual. Dua komponen utama material komposit adalah:

1. **Matriks:** Ini adalah bahan dasar yang mengikat tulangan dan mendistribusikan beban ke seluruh material komposit. Matriks ini dapat berupa polimer, logam, atau keramik.
2. **Penguatan:** Ini adalah bahan yang ditambahkan ke dalam matriks untuk meningkatkan sifat mekanik seperti kekuatan dan kekakuan. Penguatan biasanya dalam bentuk serat yang dapat berupa serat kaca, serat karbon, serat aramid, atau serat alami.

Material komposit sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena dapat dirancang untuk memiliki kombinasi sifat yang unik, seperti kekuatan tinggi, ringan, tahan korosi, dan tahan panas.



Gambar 1. Konstruksi Komposit Sederhana

Pada komposit yang menggunakan penguat serat kaca, analogi "tulang" untuk serat kaca dan "daging" untuk resin sangat membantu dalam memahami peran masing-masing komponen. Berikut adalah penjelasan

lebih lanjut tentang "E" Glass Mat:

- **Matras Kaca "E" (Matras Untai Cincang):** Ini adalah jenis serat kaca yang dipotong menjadi panjang pendek dan kemudian disusun secara acak untuk membentuk tikar atau lembaran. Lembaran ini kemudian diikat dengan pengikat untuk mempertahankan bentuknya. Karena serat ini disusun secara acak, serat ini memberikan sifat mekanis yang seragam ke segala arah. Hal ini sangat bermanfaat dalam aplikasi di mana arah beban tidak dapat diprediksi.
- **Keuntungan dari E Glass Mat:**
  1. **Distribusi Beban yang Merata:** Karena seratnya disusun secara acak, E Glass Mat memberikan kekuatan yang merata di seluruh material komposit terlepas dari arah beban.
  2. **Sifat Perikat yang Baik:** Pengikat yang digunakan untuk mengikat serat kaca pada alas ini memungkinkan resin meresap dengan baik ke dalam serat, menciptakan ikatan yang kuat antara resin dan serat kaca. Hal ini meningkatkan integritas struktural material komposit.
  3. **Kemudahan Pembuatan:** E Glass Mat mudah dipotong dan dibentuk sesuai dengan kebutuhan, Sehingga ideal untuk berbagai aplikasi, termasuk dalam industri otomotif, kelautan, dan konstruksi.

Dengan kombinasi matriks resin dan penguat serat kaca seperti E Glass Mat, material komposit dapat diproduksi dengan kekuatan tinggi, kekakuan yang baik, dan bobot yang relatif ringan, yang tidak mungkin dicapai dengan material tunggal konvensional. Konstruksi FRP (Fiber Reinforced Polymer) sangat komprehensif dan membantu dalam memahami peran masing-masing komponen serta bentuk bahan penguat yang digunakan. Berikut ini adalah ringkasan dari bentuk-bentuk bahan penguat dalam konstruksi FRP:

1. **CSM (Chopped Strand Matrix):**
  - **Deskripsi:** Serat kaca yang dipotong pendek dan disebarkan secara acak.
  - **Contoh Kode:** CSM 300 (menunjukkan kepadatan 300 gram per meter persegi).
  - **Penggunaan:** Memberikan kekuatan yang merata dan mudah digunakan untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan dalam berbagai arah.
2. Anyaman **Keliling (WR):**
  - **Deskripsi:** Anyaman serat kaca panjang yang tebal.
  - **Contoh Kode:** WR 600 (menunjukkan kepadatan 600 gram per meter persegi).
  - **Penggunaan:** Memberikan kekuatan yang lebih tinggi pada arah serat, cocok untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan spesifik pada arah tertentu.
3. **Multi Aksial:**
  - **Deskripsi:** Serat tenun dengan arah serat memanjang, melintang, dan menyilang.
  - **Penggunaan:** Memberikan gaya ke berbagai arah, ideal untuk aplikasi yang memerlukan distribusi gaya yang kompleks.
4. **Kain serat:**
  - **Deskripsi:** Kain serat tipis.
  - **Penggunaan:** Memberikan fleksibilitas yang luar biasa dan dapat digunakan dalam aplikasi yang memerlukan detail dan bentuk yang rumit.

Proses pencetakan FRP dapat dilakukan dengan berbagai cara, dan masing-masing metode memiliki keunggulan dan keuntungan tertentu tergantung pada aplikasi dan skala produksi. Berikut ini adalah penjelasan

dari beberapa metode pencetakan FRP yang umum digunakan:

1. Lay-up **tangan**:

- **Deskripsi:** Metode pencetakan manual di mana resin cair diaplikasikan dengan kuas dan kemudian ditekan secara merata ke serat penguat menggunakan roll press.
- **Keunggulan:**
  - Sederhana dan tidak memerlukan peralatan khusus.
  - Cocok untuk produksi skala kecil dan pembuatan prototipe.
  - Fleksibel untuk berbagai bentuk dan ukuran cetakan.
- Kelemahan:
  - Proses yang lambat dan padat karya.
  - Kualitas dan konsistensi hasil tergantung pada keterampilan operator.

2. Semprotkan:

- **Deskripsi:** Metode di mana resin dan serat kaca (Chopped Strand Mat/CSM) disemprotkan secara serentak ke cetakan dengan menggunakan alat khusus.
- **Keunggulan:**
  - Lebih cepat dari lay-up tangan.
  - Cocok untuk produksi skala menengah.
  - Dapat digunakan untuk membuat bagian yang lebih besar dan lebih kompleks.
- Kelemahan:
  - Memerlukan peralatan khusus.
  - Kontrol ketebalan dan kualitas mungkin kurang tepat dibandingkan metode lainnya.

3. **Infus** Vakum:

- **Deskripsi:** Metode di mana resin dihisap ke dalam kantong vakum yang membungkus cetakan dengan serat penguat yang ditata.
- **Keunggulan:**
  - Menghasilkan komposit dengan kualitas dan keseragaman yang tinggi.
  - Mengurangi jumlah udara yang terperangkap, meningkatkan kekuatan dan kekakuan.
  - Efisien dalam penggunaan resin, mengurangi limbah.
- Kelemahan:
  - Memerlukan peralatan dan bahan khusus (pompa vakum, kantong vakum).
  - Proses persiapan yang lebih rumit dan memakan waktu.

Dengan memahami berbagai metode pencetakan ini, Metode yang paling sesuai dengan kebutuhan dapat dipilih oleh produsen baik untuk produksi skala kecil, menengah, atau besar, serta untuk aplikasi yang memerlukan kualitas dan presisi tinggi.



Gambar 2. Metode Pencetakan FRP

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Untuk memastikan bahwa material komposit FRP memenuhi standar yang ditetapkan, kita dapat mengacu pada Peraturan BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) 2006 yang diambil dari standar internasional ISO 14125 tahun 1998 dan ISO 527-4 tahun 1997. Berikut ini adalah penjelasan lebih lanjut mengenai persyaratan pengujian dan nilai minimum yang disyaratkan oleh Peraturan BKI untuk pengujian kekuatan tarik dan kekuatan lentur:

**Kekuatan Tarik**

$$zR = 1278\Phi^2 - 510\Phi + 123 \text{ (MPa)}$$

**Kekuatan Lentur**

$$bR = 502\Phi^2 + 106,8 \text{ (MPa)}$$

Nilai minimum untuk sampel yang menggunakan serat keliling adalah:

$$X_{min} = \alpha \left[ X_{ref} \left( \frac{\phi}{0,4} \right) \right]$$

dimana:

$X_{min}$  = nilai minimum yang diperlukan

$X_{ref}$  = kandungan volume fiber  $F = 0,4$  nilai referensi

$a = \text{lay-up factor}$

Dan untuk sampel yang menggunakan serat karbon, nilai minimumnya adalah:

Tabel 1. Nilai Kekuatan Tarik dan Tekuk Minimum Serat Karbon

Serat	Properti	$X_{ref}$ [Mpa]	$\alpha$			
			0°	0° /90°	0° /±45°	0° /90° /±45°
Karbon	Kekuatan tarik	800	1.00	0.55	0.50	0.45
	Kekuatan lentur	725	1.00	0.55	0.45	0.42

**Prosedur Pengujian:**

- Jumlah Sampel: 6 buah untuk setiap jenis pengujian (tarik dan tekuk).
- Standar Pengujian:
  - ISO 14125 tahun 1998 untuk uji lentur.
  - ISO 527-4 tahun 1997 untuk uji tarik.

Dengan mengikuti standar dan aturan yang telah ditetapkan, kami dapat memastikan bahwa material komposit FRP yang digunakan memiliki kekuatan dan kualitas yang sesuai dengan persyaratan. Hal ini sangat penting terutama dalam aplikasi yang memerlukan kekakuan dan kekuatan yang sangat tinggi, seperti dalam konstruksi kapal dan struktur lainnya.

Langkah-langkah berikut ini harus diikuti sesuai dengan aturan BKI 2006 untuk pengujian sampel material:

1. **Proses Tempering:**

- Sampel ditempa pada suhu 40° C 16 jam non stop, atau
- Pada suhu 50° C 9 jam non stop.
- Gunakan alat pemanas yang dikontrol suhu.

2. **Pengukuran Luas Penampang Melintang:**

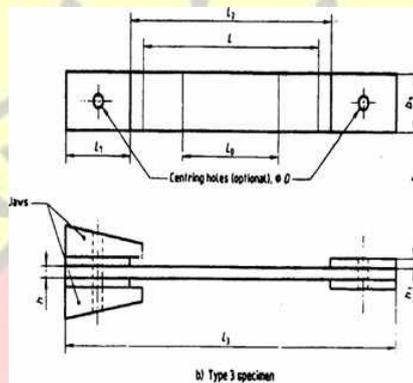
- Setelah proses tempering selesai, ukur luas penampang setiap sampel.

3. **Uji Tarik dan Uji Lentur:**

- Lakukan pengujian tarik dan dan pengujian tekuk hingga sampel putus.
- Dari pengujian ini, nilai kekuatan tarik (N/mm<sup>2</sup>) dan kekuatan lentur (N/mm<sup>2</sup>) diperoleh berdasarkan dari beban maksimal (Kg) yang telah tercapai.

4. **Penentuan Kekuatan Tarik dan Kekuatan Lentur Minimum:**

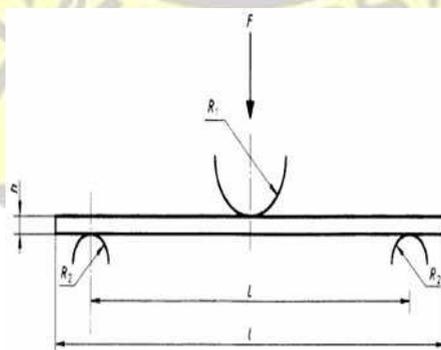
- Nilai kekuatan penarikan dan penekukan minimal yang diperlukan diputuskan berdasarkan konten serat dalam sampel.
- Kandungan serat dalam laminasi (kandungan kaca/serat) dikalkulasi atas dasar rasio susunan berat antara serat dan konten resin dalam struktur pelapisan.
- Besaran kuat tarik serta lentur minimal yang diperlukan mat, roving, dan fiber karbon dihitung berdasarkan rumus yang telah ditentukan sebelumnya.



Gambar 3. Desain Sampel Uji Tarik

Dimensi sampel uji adalah sebagai berikut:

- L3 (panjang total) = 250 mm
- b1 (lebar) = 25 ± 0,5 mm
- h (ketebalan) = 4 mm
- LT (panjang tab ujung) = 50 mm
- hT (ketebalan tab ujung) = 1 hingga 3 mm



Gambar 4. Desain Sampel Uji

Lentur Dimensi sampel uji adalah sebagai berikut:

- panjang total (l) = 121 mm
- lebar (b) = 16 mm
- ketebalan (h) = 5 mm

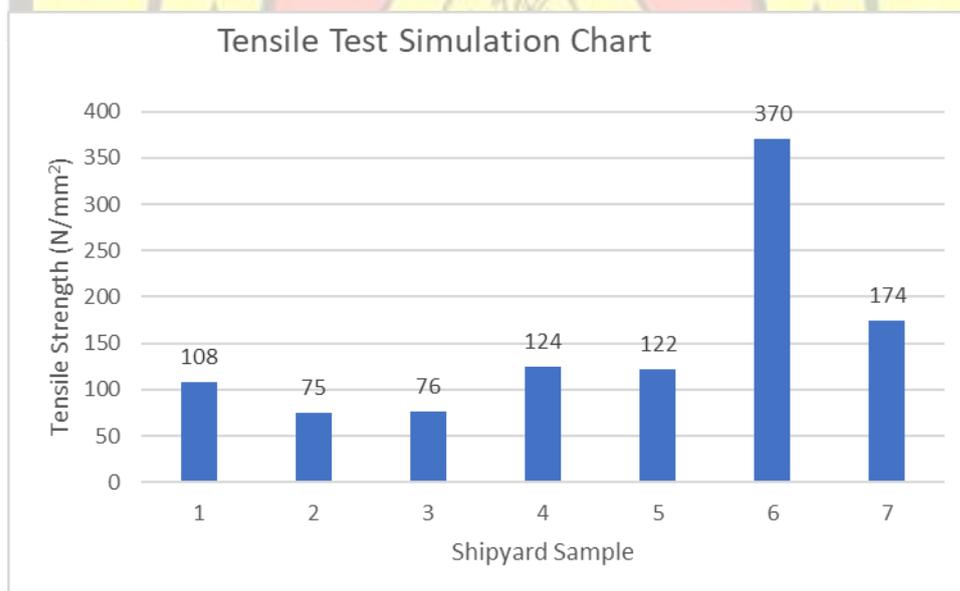
Untuk simulasi, sampel yang digunakan diasumsikan menggunakan 3 variasi jenis resin yang umum

digunakan, yaitu Yucalac-157, Resin-405, Everpol-324 tipe AR 1 serta Resin-209 (anti api) tipe PT FR 26 yang mempunyai kandungan 25% sampai 35%. Sedangkan tipe fiber serat yang umum digunakan bermacam-macam diantaranya CSM tipe E (300, 450, dan 600 gram/m<sup>2</sup>), BAM-900 (gr/m<sup>2</sup>), Woven Roving (600 dan 800 gr/m<sup>2</sup>) serta serat karbon CF 200. Pada tahap awal pengujian, sampel-sampel itu ditempa pada suhu 40<sup>0</sup> C tanpa henti selama 16 jam, seperti yang disyaratkan oleh peraturan BKI tahun 2006. Selanjutnya luas penampang diukur setiap sampel yang berjumlah 6 buah sehingga total dari 7 galangan berjumlah 42 sampel.

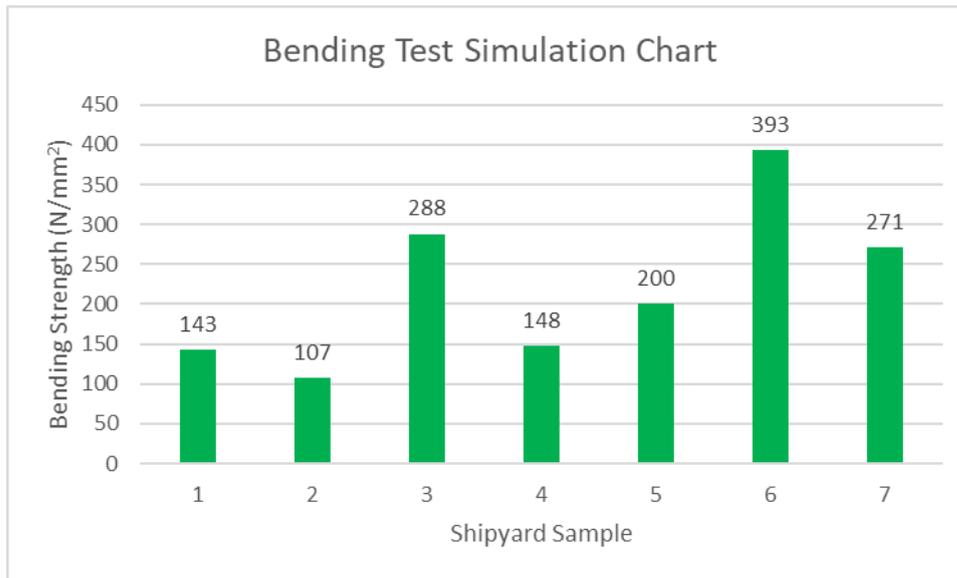
Tabel 2. Spesifikasi Sampel Uji untuk Simulasi

No.	Galangan kapal	Bahan dan Penataan Laminasi	Jenis Resin	Kandungan Serat
1	A	CSM-450, WR-600, CSM-600, WR-600 CSM-300	Yucalac-157	0,30%
2	B	CSM-450, WR- 800, CSM-450, CSM-450 & CSM-300	EPA-405	0,28%
3	C	BAM-900, MAT-450, BAM-900 & CSM-300	Resin-209 anti api tipe PT FR 26	0,373%
4	D	CSM-800, CSM-450, CSM-800 & CSM-450	EPA-405	0,385%
5	E	CSM-450, WR-800, CSM-450, WR-800, CSM-450	Everpol-324 AR 1	0,338%
6	F	Serat Karbon CF 200 (terdiri dari 14 lapis)	Resin-209 anti api tipe PT FR 26	0,331%
7	G	CSM-450, WR-800, CSM-450, WR-800 & CSM-300	Yucalac-157	0,406%

Pengujian kekuatan tarik dan tekuk dilakukan hingga terjadi patah. Nilai kekuatan tarik [N/mm<sup>2</sup>] dan kekuatan tekuk [N/mm<sup>2</sup>] masing-masing sampel dihitung sesuai dengan beban maksimum [Kgf]. Semua sampel galangan memiliki kandungan serat dalam laminasi, yang dihitung berdasarkan perbandingan komposisi berat serat dan resin dalam struktur laminasi. Nilai kekuatan tarik dan lentur minimum yang diperlukan dihitung berdasarkan kandungan serat sampel.



Gambar 5. Grafik Simulasi Uji Tarik



Gambar 6. Grafik Simulasi Uji Lentur

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik dan tekuk bervariasi dan banyak yang tidak mencapai nilai minimum yang ditetapkan oleh BKI. Dari tujuh kelompok sampel, dua kelompok (kelompok 2 dan 3) tidak memenuhi nilai kekuatan tarik minimum, dan tiga kelompok (kelompok 2 dan 3) tidak memenuhi nilai kekuatan bending minimum. Sampel 6 dengan material karbon fiber memiliki kekuatan tarik dan bending tertinggi.

## 5. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian maka dapat disimpulkan bahwa faktor pengetahuan akan standar dan material FRP yang digunakan dapat menentukan hasil akhir yang dapat memenuhi standar BKI dan terhindar dari cacat pada kapal yang dihasilkan. Selain itu, penggunaan Carbon fiber sangat dianjurkan karena dapat memenuhi atau lolos baik Tensile Test maupun Bending Test.

## Daftar Pustaka

- [1] Callister J.r, William D., *Materials Science and Engineering Fourth Edition*. John Wiley & Sons Inc. New York 1997
- [2] Organisasi Internasional untuk Standardisasi (ISO) 14125 (1998), *Penentuan Sifat Lentur Komposit Plastik yang Diperkuat Serat*.
- [3] Organisasi Internasional untuk Standardisasi (ISO) 527-4 (1997), *Penentuan Sifat Tarik Plastik*.
- [4] Peraturan BKI Untuk Untuk Bahan Non-Logam (2006)
- [5] Klasifikasi dan Survei (Vol. I) 2012
- [6] Peraturan BKI Untuk Peraturan Lambung Kapal (Vol. II) 2009
- [7] Peraturan BKI Untuk Kapal Plastik Bertulang Fiberglass (1996)