

# STUDI STANDARDISASI KONSTRUKSI LAMINASI LAMBUNG KAPAL FIBERGLASS

## A Study on Standardization of Fiberglass Ship's Hull Lamination Construction

Buana Ma'ruf

UPT Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika, BPPT  
e-mail: buanamaruf@yahoo.com

Diajukan: 21 Januari 2011, Dinilai: 18 Februari 2011 Diterima: 17 Maret 2011

### Abstrak

Kapal berbahan *fiberglass* memiliki peran penting di dalam menunjang transportasi laut nasional khususnya di wilayah pantai. Kapal jenis ini juga memiliki beberapa keunggulan teknis dan ekonomis, sehingga kebutuhannya terus meningkat. Namun demikian, kekuatan konstruksi laminasi lambung kapal *fiberglass* sering menjadi penyebab terjadinya kecelakaan di laut. Hasil survei pendahuluan di beberapa galangan kapal *fiberglass* tahun 2009 menunjukkan bahwa, disain konstruksi dan proses laminasi lambung kapal *fiberglass* umumnya tidak mengacu pada persyaratan kelas, sehingga kekuatan konstruksinya sulit dijamin. Selain itu, galangan kapal tidak memiliki standar enjiniring mengenai penggunaan material/bahan, komposisi dan prosedur laminasi yang dapat memenuhi persyaratan kelas. Makalah ini secara khusus mengkaji aspek kekuatan konstruksi laminasi lambung kapal *fiberglass* melalui studi pustaka, survei galangan, dan pengujian sampel laminasi dari kapal yang sedang dibangun di tujuh galangan kapal berpengalaman di dalam negeri, sesuai rules BKI 2006. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa, sekitar 30 persen sample galangan memiliki nilai kuat tarik dan kuat tekuk yang tidak memenuhi nilai minimum sebagaimana disyaratkan *rules* BKI. Untuk mengatasi dan menghindari hal yang sama di masa datang, diperlukan sebuah standar konstruksi laminasi lambung kapal *fiberglass* dengan berbagai variasi struktur dan prosedur laminasi, yang dikembangkan dari hasil uji sampel laminasi *fiberglass* dimana pembuatan dan pengujiannya terkontrol dan mengacu pada *rules* BKI.

**Kata kunci:** produksi kapal, laminasi *fiberglass*, uji tarik, uji tekuk

### Abstract

*Fiberglass made vessels have an important role in supporting the national sea transportation particularly in the coastal area. This kind of vessel has also several technical and economical advantages; therefore its demand is continuously increased. However, the strength of ship's hull lamination construction sometime becomes the cause of sea accident. Result of preliminary survey in several fiberglass shipyards in 2009 shows that, construction design and hull lamination process of fiberglass vessels generally do not comply to class requirement, therefore their strength of hull construction is obviously difficult to ensure. Besides that, the shipyards do not have engineering standards with regard to material used, composition, and lamination procedures that could fulfill the classification requirements. This paper is particularly intended to assess the strength of ship's hull lamination through literature survey, shipyard survey, and sample test of fiberglass ships being built in seven experienced national shipyards, based on the BKI's rules 2006. The result shows that, about 30 percent of samples have tensile strength and bending strength values that do not exceed the minimum value, as required by the BKI's rules. To anticipate and avoid this kind of problem in the future, a standard of ship's hull lamination for various lamination structures and procedures is needed that developed from the result of sample test with a controlled sample preparation and testing based on the rules of BKI.*

**Keywords:** ship production, fiberglass lamination, tensile test, bending test

## 1. PENDAHULUAN

Sebagai negara maritim, Indonesia membutuhkan sarana kapal berukuran kecil dalam jumlah banyak, untuk operasi pantai dan pengamanan di wilayah perairan Indonesia, wisata pantai, kapal ikan, dan armada kapal penumpang antar pulau-pulau kecil yang saling berdekatan. Armada kapal untuk keperluan ini umumnya menggunakan bahan *fiberglass*

(*Fiberglass Reinforced Plastics*), karena konstruksinya ringan, harganya murah, dan proses produksinya cepat (menggunakan cetakan). Dibandingkan dengan kapal berbahan aluminium yang juga ringan, galangan kapal *fiberglass* tidak memerlukan investasi besar, teknologinya sederhana, dan tidak memerlukan kualifikasi tenaga kerja yang tinggi (Ma'ruf, 2009).

Seringnya terjadi kecelakaan kapal berbahan *fiberglass* terutama terkait dengan

mutu laminasi lambung kapal yang rendah terutama jika mengalami benturan. Dari hasil diskusi teknis dengan pihak Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) diperoleh bahwa, faktor kritis pada kapal berbahan *fiberglass* adalah kekuatan konstruksi lambungnya. Hasil survei ke beberapa galangan kapal *fiberglass* di dalam negeri pada tahun 2009 menunjukkan bahwa, disain konstruksi dan proses produksi kapal *fiberglass* umumnya belum mengacu pada persyaratan klasifikasi, khususnya pada kapal-kapal berukuran di bawah 24 meter (Ma'ruf, 2009). Berbeda halnya pada kapal berbahan baja dan aluminium, dimana *rules* klasifikasi/BKI diterapkan secara ketat.

Hasil survei tersebut juga ditemukan bahwa, galangan kapal umumnya belum memiliki *engineering standards* pada proses produksinya. Jenis bahan, komposisi, dan susunan laminasi di masing-masing galangan bervariasi, tanpa adanya pengujian spesimen di laboratorium, sehingga kekuatan konstruksinya sulit dijamin. Untuk itu, pada penelitian ini dilakukan sebuah kajian kekuatan konstruksi laminasi lambung kapal *fiberglass*, yang bertujuan untuk membuat standardisasi bahan, komposisi, dan susunan laminasi lambung kapal *fiberglass* sesuai persyaratan pada *rules* BKI. Standar tersebut diharapkan kelak dapat digunakan oleh galangan-galangan kapal *fiberglass* di dalam negeri, sehingga mutu produknya terjamin dan produktivitasnya terus meningkat.

Dengan demikian, terdapat beberapa permasalahan yang akan dikaji dalam makalah ini antara lain, (i) bagaimana mengidentifikasi *yard practices* terkait dengan jenis bahan, komposisi, dan susunan laminasi yang umum digunakan, (ii) bagaimana mengetahui kekuatan konstruksi laminasi pada kapal-kapal yang sedang dibangun, (iii) bagaimana standardisasi konstruksi laminasi *fiberglass* dapat dibuat sebagai *engineering standards* di dalam menunjang proses pembuatan kapal berbahan *fiberglass* di masa datang.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

Kapal untuk operasi dan pengamanan wilayah pantai, kapal penumpang antar pulau-pulau kecil, *speed boats* dan sejenisnya umumnya berukuran kecil dan berkecepatan tinggi, sehingga konstruksinya harus ringan dengan rasio berat dan volume yang rendah. Oleh karena itu, kapal-kapal jenis ini umumnya berbahan *fiberglass* (*Fiberglass Reinforced Plastics*). Bahan aluminium juga ringan dan secara umum lebih baik daripada bahan *fiberglass* terutama untuk kapal-kapal *high speed* berukuran besar hingga 40 meter (Ma'ruf, 2004). Sedangkan bahan baja tidak cocok karena pertimbangan berat konstruksi kapal. Perbandingan antara ketiga bahan tersebut ditunjukkan pada Tabel 1 (Coackley, et al, 2003)

Tabel 1 Perbandingan Berat dan Kekuatan

Material	Specific Weight	Tensile Strength	Elastic Modulus
	Ton/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup> x10	kN/m <sup>2</sup> x10
FRP	1.5	100	6
Aluminium	2.7	120	70
Steel	7.8	210	200

Pemilihan material untuk bahan lambung kapal tidak hanya karena pertimbangan-pertimbangan tersebut di atas, melainkan juga pertimbangan tingkat teknologi dan nilai ekonomi. Dengan demikian, bahan *fiberglass* (FRP) menjadi pilihan yang paling dominan untuk kapal-kapal berukuran kecil hingga 20 meter seperti disebutkan di atas. Kapal berbahan *fiberglass* juga dapat diproduksi massal (memakai cetakan) dengan waktu yang cepat, murah, dan banyak galangan yang mampu membuatnya karena investasinya kecil, teknologinya sederhana, dan tidak memerlukan kualifikasi tenaga kerja yang tinggi (Ma'ruf, 2004).

Namun demikian, lambung kapal berbahan *fiberglass* tetap harus memiliki kekuatan yang memadai dan mampu mengantisipasi gelombang dan benturan benda keras di wilayah pantai. Seperti halnya pada *rules* klasifikasi asing, persyaratan dalam *rules* BKI mengatur mengenai proses produksi kapal *fiberglass* (BKI, 1996), dan nilai kuat tarik dan kuat lengkung/tekuk minimum untuk laminasi lambung kapal *fiberglass* (BKI, 2006). Namun kedua *rules* tersebut hanya diberlakukan untuk kapal berukuran panjang 24 meter ke atas, sedangkan kapal-kapal *fiberglass* yang beroperasi di wilayah pantai Indonesia umumnya berukuran lebih kecil. Penggunaan *rules* tersebut untuk kapal ukuran kecil hanya

bersifat *optional* (jika diminta oleh pihak pemesan), seperti pada kapal-kapal operasi pantai "Seatruck" di Kalimantan Timur (Ma'ruf, 2009).

Akibatnya, kapal-kapal *fiberglass* berukuran kecil yang umumnya tidak dikelaskan, sulit dijamin kekuatan konstruksinya (Ma'ruf, 2010a). Salah satunya dijumpai pada prototipe kapal SEP-Hull 8 meter yang dibangun pada tahun 2009, dimana hasil uji tarik dan uji tekuk spesimen laminasi kapal ini kurang memuaskan, terutama nilai kuat lengkungnya (B2TKS, 2009). Sesuai spesifikasinya (BPPH, 2009), susunan laminasi prototipe kapal tersebut terdiri dari: kulit bagian luar dengan *gelcoat type weather resistant*, lapisan berikutnya adalah *chopped strand mats* (CSM) 300 gram/m<sup>2</sup>, CSM 450 gram/m<sup>2</sup>, Woven Roving 800 gram/m<sup>2</sup>. Resin yang digunakan adalah resin tipe *water resistant* dengan sertifikat Llyod, terdiri dari BQTN 157 dan *epoxy resin*.

Secara umum, bahan utama *fiberglass* untuk kapal terdiri dari: *gelcoat*, resin, CSM, WR. Sebagaimana yang disyaratkan kelas (BKI, 1996), kandungan resin adalah 25 s.d. 35 persen, sedangkan jenis CSM yang disyaratkan adalah jenis rendah alkali yaitu tipe E (<2%), sesuai *rules* BKI (*Non Metallic Material, Sec. 1, point 2.3*). Seperti diketahui, jenis mat yang ada di pasaran terdiri dari: tipe E, S, A, C, dan AR. Bahan-bahan lainnya adalah: *wax*, PVA (*polyvinyl alcohol*), pigmen, *parafin*, *cobalt*, *methylethylketone peroxide*, *stick glue*, *powder*, dan *acetone* (Ma'ruf, 2009).

Berdasarkan *rules* BKI (*Rules for Non Metallic Materials Part 1, Edisi 2006*), pengujian

yang disyaratkan adalah uji tarik dan uji tekuk/lengkung dengan jumlah sampel (spesimen) masing-masing uji adalah enam buah. *Rules* ini mengacu pada *International Standard ISO 14125* (1998) dan *ISO 527-4* (1997). Uji tarik bertujuan untuk menentukan nilai *tensile strength*, *fracture strain* dan *modulus of elasticity*, sedangkan uji tekuk bertujuan untuk menentukan nilai *bending strength* dan *modulus of elasticity*. Untuk spesimen *fiberglass* yang menggunakan serat berbentuk mat, nilai minimum yang disyaratkan *rules* BKI (BKI, 2006) untuk kedua jenis uji tersebut adalah:

- Kuat Tarik (*tensile strength*),

$$R_z = 1278\Phi^2 - 510\Phi + 123 \text{ [Mpa]}$$

- Kuat Tekuk (*bending Strength*),

$$R_B = 502\Phi^2 + 106,8 \text{ [Mpa]}$$

dimana  $\Phi$  = *percentage of fibre weight content*

Untuk sampel yang menggunakan serat hanya berbentuk *roving*, maka nilai minimum yang disyaratkan diperoleh dari rumus berikut:

$$X_{\min} = \alpha \left[ X_{\text{ref}} \left( \frac{\phi}{0.4} \right) \right]$$

Dimana,

$X_{\min}$  : *minimum required value*

$X_{\text{ref}}$  : *reference value for fiber volume content*

$\Phi = 0,4$

$\alpha$  : *factor for lay-up*

$\phi$  : *fiber volume content*  $0,2 \leq \phi \leq 0,6$

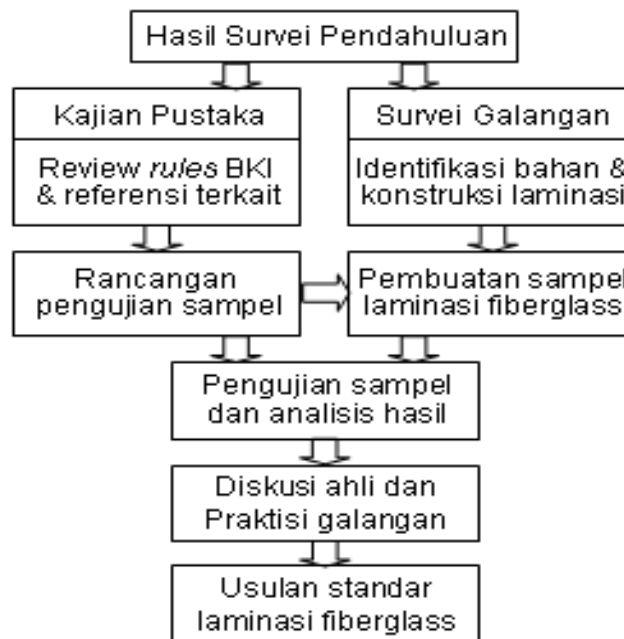
Untuk sampel yang menggunakan serat fiber carbon, maka nilai minimum yang disyaratkan adalah:

Fibre	Property	$X_{\text{ref}}$ [Mpa]	$\alpha$			
			0°	0°/90°	0°/±45°	0°/90°/±45°
Carbon	Tensile strength	800	1.00	0.55	0.50	0.45
	Bending strength	725	1.00	0.55	0.45	0.42

### 3. METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan dengan pendekatan kajian pustaka, survei lapangan, dan pengujian di laboratorium. Kerangka kerja penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Kajian pustaka mencakup kajian *rules* BKI, hasil penelitian

pendahuluan, dan referensi terkait. *Rules* BKI tersebut terdiri dari *rules* tentang *Fiberglass Reinforced Plastics Ships* (BKI, 1996), dan Peraturan untuk Material Non-Metal Bagian 1 tentang Plastik Diperkuat Serat dan Perekatannya (BKI, 2006).



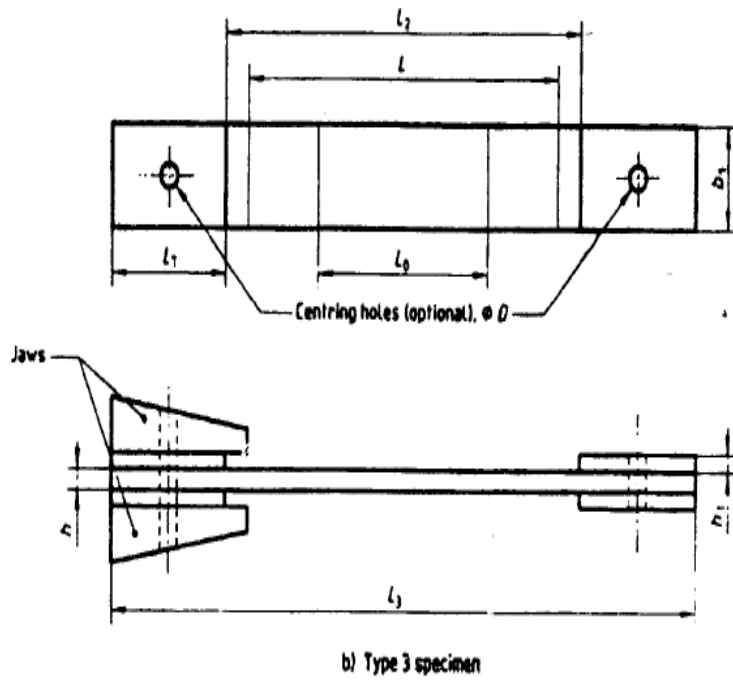
Gambar 1 Skema Penelitian

Survei lapangan dilakukan di beberapa galangan kapal *fiberglass* di dalam negeri yang sudah berpengalaman membangun kapal dengan material *fibreglass*. Survei ini bertujuan untuk mengidentifikasi *engineering standards* dan *yard practices*, khususnya mengenai jenis bahan yang digunakan, susunan dan prosedur laminasi, dan sistem pengendalian mutu selama proses produksinya. Data dan informasi ini diperoleh melalui kuesioner wawancara, diskusi dengan praktisi galangan, dan pengamatan langsung pada proses pembuatan kapal *fiberglass* di lapangan.

Dari hasil survei tersebut dilakukan pengambilan sampel pada kapal yang sedang dibangun di galangan-galangan tersebut, atau pembuatan sampel laminasi yang persis sama dengan kapal tersebut, baik bahan dan susunan laminasinya maupun proses kerjanya. Ukuran dan disain sampel dibuat sesuai persyaratan uji dalam *Rules* BKI yang berlaku (BKI, 2006), yang meliputi: 6 buah sampel uji tarik dan 6 buah sampel uji tekuk. *Rules* ini mengacu pada *International Standard ISO 527-4* (1997) untuk uji tarik, dan *ISO 14125* (1998) untuk uji tekuk.

Rancangan sampel uji tarik dan uji tekuk ditunjukkan masing-masing pada Gambar 2 dan Gambar 3.

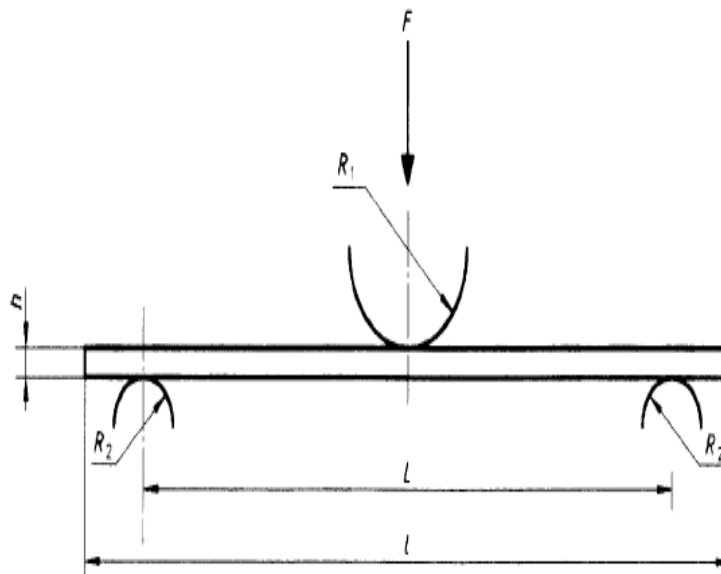
Sesuai *rules* BKI 2006, sebelum diuji sampel terlebih dahulu ditemper pada temperatur 40 derajat *celcius non-stop* selama 16 jam, atau 50 derajat *celcius non-stop* selama 9 jam, dengan alat pemanas yang suhunya terkontrol. Setelah ditemper, dilakukan pengukuran luas penampang masing-masing sampel. Uji tarik (*tensile*) dan uji tekuk (*bending*) dilakukan hingga terjadi patah, sehingga diperoleh nilai kuat tarik [ $\text{N/mm}^2$ ] dan nilai kuat tekuk [ $\text{N/mm}^2$ ], sesuai beban maksimum (Kgf) yang dicapai. Nilai kuat tarik dan kuat tekuk minimum yang disyaratkan ditentukan sesuai dengan kandungan fiber (*fiber content*) pada sampel. Kandungan fiber dalam laminasi (*glass/fiber content*) dihitung berdasarkan perbandingan komposisi berat dalam struktur laminasi, antara serat fiber dan resin. Nilai kuat tarik dan tekuk minimum yang disyaratkan BKI untuk serat berbentuk mat, roving, dan fiber carbon dihitung berdasarkan rumus sebagaimana telah diuraikan sebelumnya.



Gambar 2 Disain Sampel Uji Tarik (*Tensile*)

Dimensi sampel/spesimen uji:

$L_3$ (panjang total)	= 250 mm
$b_1$ (lebar)	= $25 \pm 0,5$ mm
$h$ (tebal)	= 4 mm
$L_T$ (panjang end tabs)	= 50 mm
$h_T$ (tebal end tabs)	= 1 s.d. 3 mm



Gambar 3 Disain Sampel Uji Tekuk (*Bending*)

Dimensi sampel/spesimen uji:

$l$ (panjang total)	= 120 mm
$b$ (lebar)	= 15 mm
$h$ (tebal)	= 4 mm

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan di 7 (tujuh) galangan kapal di dalam negeri, yang sudah berpengalaman membangun kapal *fiberglass*. Pengumpulan data dan informasi dilakukan melalui kuesioner wawancara, diskusi dengan ahli/praktisi galangan, dan pengamatan langsung di lapangan. Ketujuh galangan tersebut meliputi: CV *Fiberglass* Perkasa (Banyuwangi), PT Galangan Teluk Bajau (Samarinda), PT Marinatama Gemanusa (Batam), PT Palindo (Tanjungpinang), CV Siagan Boat (Makassar), PT Sukses Bahari Nusantara (Tanjungpinang), dan PT Carita Boats (Bajonegara, Banten).

Bahan-bahan utama *fiberglass* yang digunakan bervariasi di antara galangan-galangan tersebut, yaitu: resin, *chopped strand mats* (CSM), dan woven roving (WR). Jenis-jenis resin yang dijumpai antara lain: resin 405 EPA, Yucalac 157 BQTN, Everpol (tipe 324 AR-1 dan 3610 R), dan resin anti api 209 PT FR-26. Sedangkan jenis mat dan roving antara lain: CSM (300, 450, dan 600 gram/m<sup>2</sup>), biaxial mat (BAM 900 dan 1250 gram/m<sup>2</sup>), dan woven roving (600, 800, dan 900 gram/m<sup>2</sup>). Susunan laminasinya dibuat sesuai pengalaman (*yard practices*) tanpa *engineering standards* yang bersifat baku.

Pada proses produksinya, galangan pada umumnya belum mengacu pada *rules* BKI. Aplikasi *rules* BKI sepenuhnya masih sulit dilaksanakan karena sumberdaya yang kurang memadai untuk itu. Selain itu, proses persetujuan gambar oleh BKI (*class approval*) juga cukup lama, sementara waktu pembangunan kapal sangat singkat. Akibatnya, pihak galangan cenderung tidak mengelaskan kapal yang dibangun, kecuali jika hal ini disyaratkan oleh pihak pemilik kapal. Pemenuhan syarat kekuatan laminasinya sulit diketahui karena uji sampel umumnya tidak dilakukan ketika kapal tersebut dibangun.

##### 4.2 Pembuatan Sampel Uji

Pembuatan sampel laminasi pada penelitian ini dilakukan di tujuh galangan kapal yang menjadi lokasi survei, dan dinilai cukup berpengalaman membangun kapal-kapal *fiberglass* berbagai jenis dan ukuran di dalam negeri. Sampel laminasi tersebut dibuat/ diambil dari kapal yang dibangun pada tahun 2010, atau komposisi bahan dan susunan laminasi sesuai *yard practice* masing-masing galangan. Setiap galangan diambil satu jenis sampel laminasi (masing-masing 6 buah), sehingga seluruhnya diperoleh 42 buah sampel seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Spesifikasi Sampel Laminasi Galangan

No	Nama Perusahaan	Bahan dan Susunan Laminasi	Jenis Resin	Fiber Content
1.	Galangan 1 (Banyuwangi): Prototipe Kapal Sep-Hull 8 m)	CSM 300, WR 600, CSM 600, WR 600, CSM 450	Yucalac 157 BQTN	0.290%
2.	Galangan 2 (Samarinda): Seatruck 8 m	CSM 300, CSM 450, CSM 450, WR 800, CSM 450	405 EPA	0.250%
3.	Galangan 3 (Batam): Kapal penumpang 42 m	CSM 300, biaxial mat/BAM 900, mat 450, biaxial mat 900	Anti api 209 PT FR-26	0.371%
4.	Galangan 4 (Tanjungpinang): Kapal penumpang 36 m	CSM 450, CSM 800, CSM 450, CSM 800	405 EPA	0.387%
5.	Galangan 5 (Makassar): Kapal 12 m	CSM 450, WR 800, CSM 450, WR 800, CSM 450	Everpol 324 AR-1	0.336%
6.	Galangan 6 (Tanjungpinang): Kapal penumpang 40.2 m	Carbon Fiber CF-200 (14 lapis)	Anti api 209 PT FR-26	0.333%
7.	Galangan 7 (Bojonegara): Inspection Boat 30 m	CSM 300, WR 800, CSM 450, WR 800, CSM 450	Yucalac 157 BQTN	0.403%

Keterangan: Struktur lapisan tersebut tidak termasuk lapisan Gelcoat (lapisan pertama)

Sampel tersebut menggunakan tiga variasi jenis resin yaitu: Yucalac 157 BQTN, resin 405 EPA, Everpol 324 AR-1, dan resin Anti api 209 PT FR-26, dengan kandungan 25 s.d. 35 persen. Sedangkan jenis serat yang digunakan juga bervariasi antara lain: CSM tipe E (ukuran 300, 450, dan 600 gram/m<sup>2</sup>), biaxial mat (BAM 900 gram/m<sup>2</sup>), WR (ukuran 600 dan 800 gram/m<sup>2</sup>), dan carbon fiber CF-200. Sebelum diuji sampel tersebut ditemper terlebih dahulu di UPT BPPH pada temperatur 40 derajat *celcius non-stop* selama 16 jam, sebagaimana disyaratkan pada *rules* BKI 2006. Setelah itu dilakukan pengukuran luas penampang masing-masing sampel.

#### 4.3 Hasil Uji Spesimen

Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Las dan Material PT BKI (Persero), dimana laboratorium ini telah terakreditasi ISO 17025:2008 sebagai laboratorium pengujian dari KAN (No. LP 442 IDN). Uji tarik (*tensile*) dilakukan dengan mesin uji Trebel 25 ton dan

metode uji ISO 527-4 (1997), dan uji tekuk (*bending*) dengan mesin uji Amsler 2000 N dan metode uji ISO 14125 (1998). Uji tarik dan uji tekuk dilakukan hingga terjadi patah, sehingga diperoleh kuat tarik [N/mm<sup>2</sup>] dan kuat tekuk [N/mm<sup>2</sup>] dari masing-masing sampel yang diuji, sesuai beban maksimum [Kgf] yang dicapai. Dari hasil pengujian tersebut diperoleh rata-rata nilai kuat tarik dan kuat tekuk dari masing-masing kelompok sampel.

Nilai kuat tarik dan kuat tekuk minimum yang disyaratkan ditentukan sesuai dengan kandungan fiber (*fiber content*) pada sampel. Kandungan fiber dalam laminasi (*glass/fiber content*) dihitung berdasarkan perbandingan komposisi berat fiber dan berat resin dalam struktur laminasi. Nilai kuat tarik dan tekuk minimum yang disyaratkan BKI untuk serat jenis mat, roving, dan carbon diperoleh dari rumus seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Rata-rata nilai kuat tarik dan nilai kuat tekuk untuk seluruh sampel galangan tersebut ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Hasil Uji Tarik Sampel Laminasi Galangan

Kelompok	Nomor Sampel	Kuat Tarik [N/mm <sup>2</sup> ]							
		I	II	III	IV	V	VI	Rata-rata	Syarat Minimal
Sampel 1		85	99	120	126	123	93	108	83
Sampel 2		49	74	67	79	91	92	75	75
Sampel 3		80	83	55	79	68	93	76	110
Sampel 4		119	126	130	125	130	112	124	117
Sampel 5		113	129	132	124	103	132	122	96
Sampel 6		480	372	370	395	292	313	370	220
Sampel 7		159	174	197	156	184	175	174	125

Tabel 4 Hasil Uji Tekuk Sampel Laminasi Galangan

Kelompok	Nomor Sampel	Kuat Lengkung [N/mm <sup>2</sup> ]							
		I	II	III	IV	V	VI	Rata-rata	Syarat Minimal
Sampel 1		124	141	155	153	132	154	143	149
Sampel 2		102	109	110	101	97	122	107	138
Sampel 3		280	253	335	276	316	265	288	176
Sampel 4		190	152	68	164	136	176	148	182

Kelompok \ Nomor Sampel	Kuat Lengkung [ $N/mm^2$ ]							Rata-rata	Syarat Minimal
	I	II	III	IV	V	VI			
Sampel 5	203	171	175	213	230	205	200	163	
Sampel 6	553	415	243	394	441	311	393	162	
Sampel 7	234	271	282	288	240	313	271	188	

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan, nilai kuat tarik dan kuat tekuknya bervariasi dan banyak yang tidak mencapai nilai minimum yang disyaratkan BKI. Di antara tujuh kelompok sampel terdapat dua kelompok sampel yang tidak memenuhi syarat nilai kuat tarik minimum (sampel 2 dan 3) seperti pada Tabel 3, dan tiga kelompok sampel yang tidak memenuhi syarat nilai kuat tekuk minimum (sampel 1, 2 dan 4) seperti pada Tabel 4. Nilai kuat tarik terendah adalah sampel 2, dan nilai kuat tekuk terendah adalah sampel 3. Sampel 6 yang memakai bahan fiber carbon memiliki kuat tarik dan kuat tekuk tertinggi.

#### 4.4 Pembahasan

Hasil pengujian sampel laminasi tersebut mengindikasikan bahwa, sekitar 30 persen kapal *fiberglass* yang dibangun selama ini dan kapal *fiberglass* yang beroperasi di dalam negeri tidak memenuhi kekuatan konstruksi sesuai persyaratan BKI, terutama kerawanan ketika lambung kapal mengalami benturan, dimana benda-benda keras yang terapung di perairan Indonesia. Angka ini tergolong besar dan perlu ada solusi teknologinya.

Hasil pengujian tersebut didiskusikan dengan ahli/praktisi terkait secara terpisah di beberapa tempat, meliputi: BKI Pusat (Jakarta), CV Siagan Boat (Makassar), BKI Cabang Utama Batam (Batam), PT Marinatama Gemanusa (Batam), dan PT Sukses Bahari Nusantara (Tanjungpinang). Hasil diskusi dan pembahasan tersebut diperoleh bahwa, lemahnya konstruksi laminasi *fiberglass* antara lain disebabkan: perlakuan/penyimpanan bahan, komposisi bahan, susunan laminasi, dan proses laminasi yang kurang sempurna (antara lain: tempat, suhu, cuaca, dan kerataan dan kepadatan laminasinya).

Komposisi bahan dan susunan laminasi di sejumlah galangan, diawali dengan mat (CSM) 300 pada lapisan pertama setelah lapisan *gelcoat*. Hal ini dimaksudkan agar semua permukaan terutama daerah lengkungan dan

sudut-sudut kecil dapat terjangkau dan mudah menempel pada lapisan *gelcoat* secara merata (Ma'ruf, 2010b). Disusul dengan lapisan CSM 450 dan WR 600 atau 800 (lapisan CSM dan WR secara bergantian), atau Biaxial Mat (kombinasi mat dan roving), dan lapisan terakhir selalu CSM 450 agar permukaan terluar (bagian dalam) lebih halus.

Nilai kuat tarik dan kuat tekuk yang cukup variatif dari kelompok sampel yang sama menunjukkan, struktur laminasi cenderung tidak homogen dan cara pengerjaan laminasi yang kurang sempurna. Namun menurut para praktisi galangan, susunan lapisan laminasi tersebut cukup baik dan menjadi standar *yard practice* hampir di semua galangan. Oleh karena itu, perbedaan kekuatan konstruksi laminasinya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui sejauhmana pengaruh bahan, susunan laminasi, dan proses pengerjaan terhadap kekuatan konstruksi laminasi lambung kapal *fiberglass*.

Di antara sepuluh galangan (termasuk yang galangan disurvei pada tahun 2009), penggunaan fiber carbon hanya dijumpai di PT Sukses Bahari Nusantara (Tanjungpinang) dimana galangan ini hanya membangun kapal-kapal besar berukuran 30 s.d. 40 meter, dan resin yang digunakan adalah jenis anti api, sesuai permintaan pihak pemesannya. Bahan fiber carbon jauh lebih ringan dan kuat dibanding bahan *fiberglass* lainnya, namun harganya jauh sangat mahal daripada bahan fiber biasa (tetapi masih jauh lebih murah daripada kapal berbahan aluminium). Penggunaan fiber carbon dengan resin anti api lebih tepat digunakan pada kapal penumpang berukuran besar, karena bahan-bahan yang digunakan tersebut memiliki tingkat keamanan yang tinggi.

Komposisi bahan dan susunan laminasi pada kapal *fiberglass* yang cukup variatif di galangan-galangan kapal di dalam negeri selama ini ditentukan sendiri sesuai kebiasaan dan pengalaman masing-masing galangan, tanpa adanya acuan khusus atau *engineering standards*, sehingga cukup banyak kapal yang dibangun tidak memenuhi persyaratan kekuatan



sebagaimana yang diatur pada rules BKI atau klasifikasi sejenis lainnya. Kondisi ini dapat diantisipasi dengan membuat sebuah standar komposisi bahan, susunan laminasi dan proses laminasi yang telah teruji di laboratorium.

Standar tersebut potensial dan perlu diajukan untuk mendapatkan SNI (Standar Nasional Indonesia), dimana selama ini belum ada SNI tentang komposisi bahan dan susunan laminasi *fiberglass* untuk lambung kapal. Dengan adanya pengakuan SNI untuk hal ini, pihak pemilik/pemesan kapal dan galangan pembangun akan mendapatkan acuan dan jaminan kekuatan konstruksi lambung kapal yang sedang dibangun, sehingga tingkat kecelakaan laut akibat lemahnya konstruksi lambung dapat diperkecil.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Sekitar 30 persen kapal *fiberglass* yang dibangun di galangan kapal *fiberglass* dalam negeri selama ini tidak memenuhi kekuatan konstruksi sesuai persyaratan BKI, terutama kerawanan ketika lambung kapal mengalami benturan.
- Lemahnya konstruksi laminasi *fiberglass* umumnya disebabkan oleh komposisi bahan, susunan laminasi, dan proses pengerjaannya yang tidak mengacu pada persyaratan kelas.
- Nilai kuat tarik dan kuat tekuk yang cukup variatif dari kelompok sampel yang sama, cenderung terjadi karena struktur laminasi yang tidak homogen dan cara pengerjaan laminasi yang kurang sempurna.
- Lambung kapal berbahan fiber carbon dan resin anti api memiliki kekuatan konstruksi yang paling baik dan aman, namun harga bahannya sangat mahal dibandingkan dengan bahan-bahan *fiberglass* biasa.
- Hasil kajian variasi komposisi bahan dan susunan laminasi lambung kapal *fiberglass* yang memenuhi persyaratan pada *rules* BKI dapat diajukan untuk mendapatkan SNI (Standar Nasional Indonesia).

### 5.2 Saran

Beberapa saran yang diberikan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Penerapan *rules* BKI/klas sejenisnya perlu dilakukan secara konsisten pada proses

pembangunan kapal *fiberglass*, meliputi: penyimpanan dan penggunaan bahan, disain konstruksi kapal, proses pengerjaan laminasi dan pengawasan proses produksi secara ketat.

- Perlu dilakukan pengujian khusus terhadap beberapa variasi sampel menurut jenis dan komposisi bahan, dan susunan lapisan laminasi, melalui pembuatan sampel laminasi yang lebih terkontrol sesuai *rules*, untuk mengetahui sejauhmana pengaruh masing-masing faktor tersebut terhadap kekuatan konstruksi laminasi.
- Perlu adanya standar baku yang ber-SNI terhadap beberapa variasi komposisi bahan dan susunan laminasi untuk lambung kapal *fiberglass*, yang kelak dapat dijadikan sebagai *engineering standard* bagi pihak galangan pada pembangunan kapal *fiberglass*.

## DAFTAR PUSTAKA

- BKI (2009). *Rules for the Classification and Construction of Seagoing Ships Vol II*. Biro Klasifikasi Indonesia. Jakarta.
- (2006). *Fiberglass Reinforced Plastics Ships, Rules and Regulation for the Classification and Construction of Ships*, Biro Klasifikasi Indonesia. Jakarta.
- (1996). *Peraturan untuk Material Non-Metal*. Biro Klasifikasi Indonesia. Jakarta.
- Coackley, et al (2003). *Fishing Boat Construction: 2 Building a Fibreglass Fishing Boat, FAO Fisheries Technical Paper*. United Nations.
- International Organization for Standardization. (1998). ISO 14125. *International Standard, Fibre-reinforced Plastic Composites Determination of Flexural Properties*.
- (1997). ISO 527-4. *International Standard, Plastics-Determination of Tensile Properties*.
- Jamaluddin, A. (2010b). *Teknologi Pembangunan Skala Komersil Kapal Sep-Hull Berbahan Fiberglass, Majalah Pengkajian Industri*, Vol. 4 No.2, Agustus, hal 113-22. Jakarta.
- Ma'ruf, B. (2010a). *Modernisasi dan Standardisasi Teknologi Pembangunan Kapal Berbahan Fiberglass*, Laporan Penelitian. BPPT. Jakarta.

- (2009). *Teknologi Pembangunan dan Sertifikasi Kapal SEP-Hull*. Laporan Penelitian. BPPT. Jakarta.
- (2004), *Review of the Strengthening the Customs Capability Project of Indonesia*. Final Report. Islamic Development Bank.
- (2003), *Study on Quality Management of Block Construction in Indonesia*, *Jurnal Penelitian Enjiniring*, UNHAS, Volume 9, Nomor 2, hal. 153-162.
- UPT B2TKS. (2009). *Analisa Keandalan Material Kapal Sep-Hull*, Laporan Akhir Hasil Penelitian, Jakarta.
- UPT BPPH. (2009). *Spesifikasi Teknis Pembangunan Prototipe Kapal Sep-Hull*. Surabaya.