

ANALISIS KEKUATAN LAMINASI LAMBUNG KAPAL *FIBERGLASS* YANG MENGUNAKAN MATERIAL *MULTIAXIAL*

A Strength Analysis of Fiberglass Ship's Hull Lamination using Multiaxial Material

Buana Ma'ruf

UPT Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika, BPPT
Jl. Hidrodinamika, Kompleks ITS Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia
e-mail: buanamaruf@yahoo.com

Diterima: 27 Mei 2013, Direvisi: 11 September 2013, Disetujui: 15 September 2013

Abstrak

Konstruksi lambung kapal *fiberglass* menjadi hal yang sangat penting dikaji dan dikembangkan dalam rangka standarisasi kapal *fiberglass* yang beroperasi di wilayah kepulauan Indonesia, sehingga kapal-kapal *fiberglass* memiliki standar mutu yang dapat menjamin keselamatan kapal di laut. Penelitian ini secara khusus mengkaji kekuatan laminasi lambung kapal *fiberglass* yang menggunakan material *multiaxial*. Hasilnya dibandingkan dengan kekuatan laminasi lambung kapal dengan menggunakan material serat WR (*woven roving*) dan CSM (*chopped strand mat*), yang selama ini banyak digunakan di galangan. Kajian kekuatan dilakukan dengan menggunakan pengujian spesimen laminasi dari kedua bahan tersebut, yang meliputi uji tarik dan uji tekuk berdasarkan *rules* BKI (2006). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa, laminasi lambung kapal *fiberglass* dengan material *multiaxial* memiliki kuat tarik dan kuat tekuk yang lebih tinggi daripada laminasi lambung yang menggunakan material kombinasi WR dan CSM. Oleh karena itu, material *fiberglass multiaxial* merupakan salah satu alternatif solusi perbaikan mutu konstruksi laminasi lambung kapal *fiberglass*. Selain itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi di dalam pengembangan standar kapal berbahan *fiberglass* di masa datang.

Kata kunci: kapal *fiberglass*, material *multiaxial*, uji tarik, uji tekuk.

Abstract

Fiberglass ship's hull lamination construction became a crucial thing to be examined and developed in the framework of developing standardization of fiberglass ships operating in Indonesia archipelago, therefore the fiberglass ships have a quality standard that can ensure the ship's safety at sea. This research particularly examined strength of a fiberglass ship's hull lamination which is built using multiaxial material. The result is compared to a hull built using a commonly used WR (Woven Roving) and CSM (Chopped Strand Mat) material that commonly used in shipyards. The strength examination of both material lamination is performed using specimen testing, covering a tensile and bending test based on BKI's rules (2006). The test result shows that, a fiberglass ship's hull that are made using a multiaxial material is having a tensile and bending strength higher than a hull using WR and CSM combination. Therefore, the multiaxial fiberglass material is an alternative solution for upgrading the quality of fiberglass ship's hull construction. Moreover, the result of this research can be used as a reference for developing a fiberglass ship standards in the future.

Keywords: *fiberglass ship, multiaxial material, tensile test, bending test.*

1. PENDAHULUAN

Penelitian ini dilakukan sebagai tindak lanjut dari hasil penelitian sebelumnya (Ma'ruf, 2011), yang menyimpulkan bahwa sekitar 30 persen sampel galangan memiliki nilai kuat tarik dan kuat tekuk yang tidak memenuhi nilai minimum yang disyaratkan *Rules* BKI 2006. Penelitian tersebut juga menyarankan perlunya pengujian spesimen yang khusus dibuat dengan bahan dan proses laminasi secara terkontrol sesuai *rules* tersebut, dalam rangka standarisasi laminasi lambung kapal berbahan serat gelas (*fiberglass*) di Indonesia (Ma'ruf, 2011).

Akibat belum adanya standar-standar tersebut, galangan kapal *fiberglass* di dalam negeri umumnya hanya menggunakan kebiasaannya membangun kapal tanpa standar *engineering* dan standar mutu yang jelas dan baku (Ma'ruf, 2012). Mudah-mudahan masuk ke industri ini juga berdampak pada galangan-galangan yang selama ini mampu membuat kapal dengan mutu yang baik, dan juga pelanggan atau pemesan kapal dan masyarakat pengguna layanan transportasi laut (Ma'ruf, et al, 2011). Dengan adanya standar ini maka diharapkan kapal-kapal *fiberglass* yang dibangun di dalam negeri memiliki standar mutu bahan,

struktur laminasi dan proses produksi tertentu, sehingga keselamatan pelayaran kapal dapat lebih terjamin.

Selama ini kecelakaan laut masih sering terjadi, dimana kecelakaan terakhir di Indonesia dari kapal *fiberglass* terjadi tahun 2009 di Riau, yang sedikitnya menewaskan sedikitnya 29 orang (lintasjakarta.com, 2009). Belum lagi terhitung kecelakaan-kecelakaan lainnya yang terjadi pada kapal-kapal *fiberglass*, karena tidak memiliki sertifikat kelayakan konstruksi dari BKI (suarakaryaonline.com, 2009).

Rules BKI (1996 dan 2009) memang sudah mencakup aturan-aturan teknis dalam membangun kapal, namun hal tersebut masih mengadopsi aturan-aturan dalam *rules* klasifikasi asing, dimana dasar kondisi perairan yang digunakan berbeda dengan kondisi perairan di Indonesia yang relatif tenang. Dengan demikian, *rules* tentang kapal *fiberglass* masih perlu disempurnakan dan disesuaikan dengan kondisi perairan Indonesia (Ma'ruf, Suhadi, 2011). Hal-hal yang perlu diatur lebih jelas terkait dengan kapal *fiberglass*, antara lain standar penggunaan material kapal *fiberglass*, standar fasilitas dan peralatan galangan, standar proses pengerjaan laminasi *fiberglass*, dan standar kondisi lingkungan di areal produksi (Ma'ruf, et al., 2011).

Standar penggunaan material didasarkan pada hasil pengujian spesimen (kuat tarik, kuat tekuk, dan *fiber content*) sesuai *rules* BKI 2006. Cukup banyak jenis bahan *fiberglass* "non-marine grade" yang beredar di pasaran dengan harga murah, yang pada dasarnya untuk digunakan pada pembuatan kursi, bak air, mainan anak, dan lain-lain. Keterbatasan pemahaman dan pengetahuan galangan dapat berakibat pada penggunaan bahan yang salah dan tidak memenuhi syarat untuk digunakan pada pembuatan kapal. Beberapa jenis serat gelas dan resin yang ada di pasaran. Jenis serat gelas yang ada di pasar lokal antara lain WR (*Woven Roving*), CSM (*Chopped Strand Mat*), dan *multiaxial* berbagai ukuran (Ma'ruf, et al., 2011).

Oleh karena itu, penelitian ini secara khusus melakukan analisis kekuatan laminasi lambung kapal dengan menggunakan material *fiberglass multiaxial*. Hasilnya akan dibandingkan dengan konstruksi laminasi yang menggunakan material serat kombinasi WR dan CSM (selanjutnya disebut material konvensional). Hal ini dilakukan dalam rangka upaya pengembangan standarisasi pembuatan kapal *fiberglass* di Indonesia, yang meliputi aspek bahan, aspek pengerjaan, aspek fasilitas dan peralatan, dan aspek lingkungan areal produksi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan standarisasi pembuatan kapal *fiberglass* di Indonesia, yang meliputi aspek bahan, aspek pengerjaan, aspek fasilitas dan peralatan, dan aspek lingkungan areal produksi terkendali dengan sistem semi aerobik *landfill*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Fiberglass dalam ilmu material termasuk ke dalam kategori *Thermoset Polymer Composites*. *Composites* sendiri merupakan dua atau lebih material yang berbeda sifat fisik dan kimiawinya bersatu secara makroskopik menjadi sebuah material baru yang memiliki sifat fisik dan kimawi yang baru dan berbeda (Judawisastra, 2000). Jadi *thermoset polymer composites* merupakan penggabungan dua material utama *resin polymer* (plastik) dan *fiberglass* (serat kaca), sehingga *fiberglass* yang kita kenal sering juga disebut *Fiberglass Reinforced Plastic* (FRP).

Dari segi kekuatan, tolok ukur utama kekuatan pada FRP adalah kekuatan tarik. Sesungguhnya kuat tarik serat glass sangat tinggi, dapat mencapai hingga 100.000 psi atau setara dengan 689 MPa (Peters, 1998), seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Sedangkan, *resin polyester* yang sering digunakan untuk pembuatan kapal-kapal *fiberglass* memiliki nilai kuat tarik yang kecil, yaitu pada kisaran angka 50 MPa saja (Greene, 1999), seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1 Sifat mekanis serat gelas.

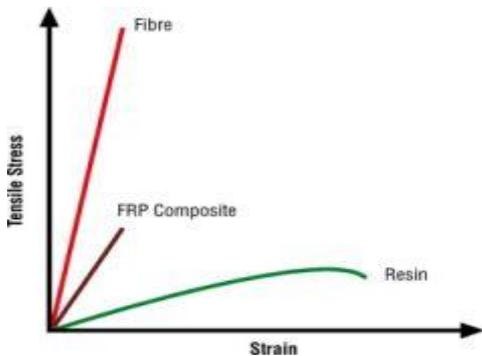
Sifat Mekanis	Nilai
<i>Tensile Strength</i> (psi)	100.000
<i>Young's Modulus</i> (psi)	3.000
<i>Elastic Recovery</i> (%)	10
<i>Specific Strengt</i> (km)	76
<i>Coefficient of Expansion</i> ($^{\circ}F^{-1}$)	40 - 60x10 ⁻⁷
<i>Thermal Conductivity</i> (cal/sec/cm ² / $^{\circ}C$)	8 x 10 ⁻⁵
<i>Specific Heat</i>	0,16 – 0,2
<i>Specific Grafity</i>	2,5 +

Tabel 2 Sifat mekanis resin polymer.

	Material	Density		Tensile Strength		Tensile Modulus		Ultimate Elongation %	1995 Cost \$/lb
		lbs/ft ³	gm/cm ³	psi x 10 ³	Mpa	psi x 10 ⁶	Gpa		
Resins	<i>Orthophthalic Polyester</i>	76,7	1,23	7	48,3	0,59	4,07	1	1,05
	<i>Isophthalic Polyester</i>	75,5	1,21	10,3	71,1	0,57	3,90	2	1,19
	<i>Vinyl Ester</i>	69,9	1,12	11-12	76-83	0,49	3,38	4-5	1,74
	<i>Epoxy (Gougeon Proset)</i>	74,9	1,20	1-11	48-76	0,53	3,66	5-6	3,90
	<i>Phenolic</i>	71,8	1,15	5,1	35,2	0,53	3,66	2	1,10

Ketika kedua material utama tersebut (resin dan serat gelas) digabungkan dan menjadi material yang baru (*Composites/ FRP*) nilai kuat tariknya menjadi relatif dengan besaran tengah antara kuat tarik serat dan kuat tarik resin, seperti pada Gambar 1 (Cripps, 2000). Dengan demikian, salah satu faktor penentu kuat tarik *composites* adalah komposisi kandungan resin dan serat di dalamnya. Karena kuat tarik serat yang tinggi, maka semakin banyak serat yang terkandung (*fiber volume content*), maka akan semakin kuatlah *composites* yang tercipta dari pencampuran kedua kandungan tersebut.

Adapun jenis serat gelas yang banyak digunakan pada pembuatan kapal *fiberglass* biasanya berbentuk kain *fiberglass*, sehingga dapat dengan mudah diletakkan dalam cetakan dan mengikuti bentuk cetakan tersebut. Adapun jenis kain *fiberglass* tersebut antara lain (Cripps, 2000):



Gambar 1 Perbandingan kuat tarik bahan.

a. *Chopped Strand Mat (CSM)*

CSM merupakan teknologi *fiberglass* generasi pertama. Bahan ini berbentuk lembaran kain dengan kandungan serat pendek yang acak. Kain ini tidak memiliki arah kuat tarik yang spesifik, karena seratnya yang acak, tidak beraturan. Jika digabungkan dengan resin, maka perbandingan kandungan resin dan glass (*fiber weight content*) adalah sekitar 70:30.

b. *Woven Roving (WR)*

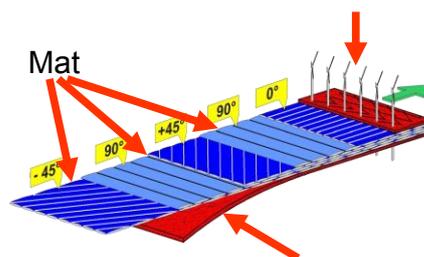
WR merupakan teknologi *fiberglass* generasi kedua. Bahan ini berbentuk lembaran kain

yang dibuat dari benang kaca yang dianyam. Kain ini memiliki kuat tarik yang baik pada arah 0° dan 90°. Jika digabungkan dengan resin, maka perbandingan kandungan resin dan serat adalah sekitar 55:45.

c. *Multiaxial (DB)*

DB merupakan teknologi *fiberglass* generasi terakhir. Bahan ini berbentuk lembaran kain yang dibuat dari benang kaca halus yang dirajut, dapat diarahkan ke berbagai arah sesuai kebutuhan, dan dapat digabungkan beberapa lapis sekaligus. Kain ini memiliki kuat tarik yang baik pada berbagai arah, sehingga dapat disesuaikan penggunaannya terhadap beban yang akan ditanggung oleh produk jadi. Jika digabungkan dengan resin, maka perbandingan kandungan resin dan glass adalah sekitar 40:60.

Teknologi *multiaxial* adalah suatu teknologi pembuatan kain *fiberglass*, dimana dalam kain tersebut terdapat berbagai macam arah. Pada umumnya *multiaxial* disusun pada arah 0°, 45°, -45°, dan 90°, seperti pada Gambar 2 (Franzke, 1999).

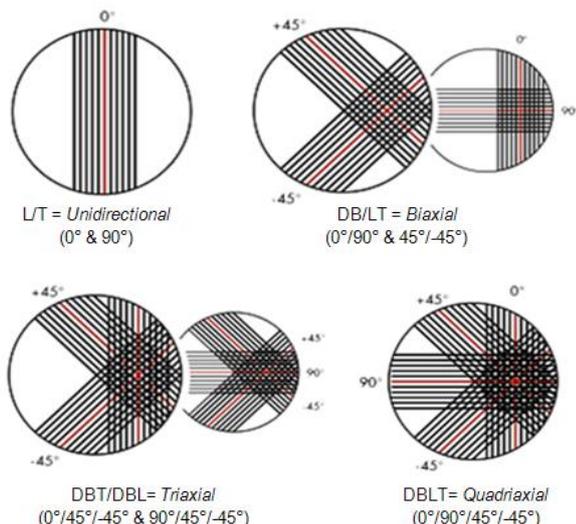


Gambar 2 Proses produksi *fiberglass multiaxial*.

Berbeda dengan material konvensional yang arah seratnya terbatas, *multiaxial* memiliki arah serat yang bervariasi dan teratur, sehingga kekuatan laminasi produk komposit dapat disesuaikan dengan beban yang diterima oleh produk tersebut, sehingga produk tersebut dapat dibuat menjadi lebih kuat dan lebih efisien. Dengan keteraturan arah serat *multiaxial* tersebut, dapat diperoleh perbandingan kandungan glass dengan resin (*glass content*) yang lebih tinggi dibandingkan serat

konvensional. Artinya, penggunaan resin dalam proses laminasi *multiaxial* lebih sedikit dibandingkan serat konvensional, sehingga diperoleh produk komposit yang lebih ringan.

Multiaxial dibagi ke dalam beberapa kelompok berdasarkan arah serat, seperti ditunjukkan pada Gambar 3 (Cripps, 2000).



Gambar 3 Variasi arah serat *multiaxial*.

Tabel 3 Perbandingan material *multiaxial* dan konvensional.

Property	Woven Roving/ Chopped Strand Mats	Multiaxial Fabric	Increase
Tensile Strength (Mpa)	250	425	70%
E-Modulus (Mpa)	13.500	19.500	44%
Elongation at Break (%)	2,1	3	43%
Glass Content (%)	45	59,9	33%
Load Capacity Weight	0,087	0,241	177%
Stiffness Weight	5,9	11,1	88%
Thickness	4,6 mm	3,3 mm	-28%

Sumber: Gay, D., et al (2003)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menitikberatkan pada kajian kekuatan laminasi *multiaxial* dan laminasi konvensional dengan dua jenis resin yang berbeda, sebagaimana yang banyak digunakan galangan. Penelitian ini dilaksanakan dengan pendekatan kajian pustaka, survei lapangan, dan pengujian di laboratorium. Kerangka kerja penelitian ditunjukkan pada Gambar 4. Kajian pustaka mencakup kajian *rules* BKI, hasil penelitian sebelumnya, 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).

Jenis serat *multiaxial* yang paling umum digunakan untuk membangun kapal *fiberglass* adalah:

1. Tipe L (*Unidirectional*): diaplikasikan khususnya pada laminasi lunas dan tulangan, meningkatkan kekuatan *bending* kapal.
2. Tipe DB (*Biaxial*): diaplikasikan untuk lambung kapal, untuk memperkuat *impact* kapal terhadap benturan ombak dan benda lain.

Perbandingan antara material *multiaxial* dan material konvensional seperti pada Tabel 3 (Gay, D., et al, 2003), dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Material *multiaxial* memiliki kekuatan tarik, kekakuan tarik, dan elongasi yang lebih tinggi daripada material konvensional.
2. Material *multiaxial* memiliki kandungan serat yang lebih tinggi daripada material konvensional.

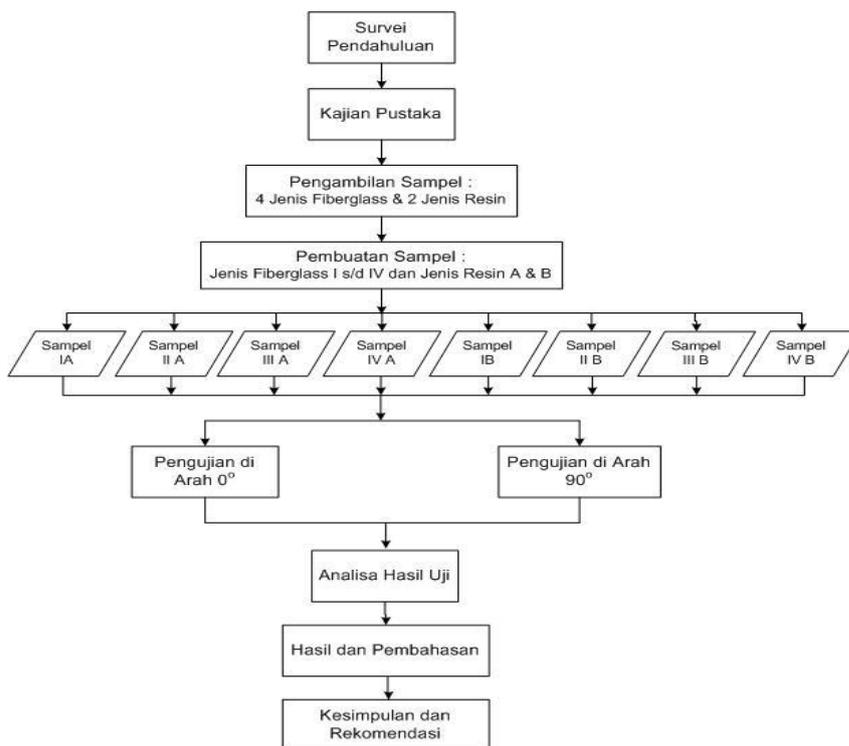
Dengan melihat kedua hal di atas, tentunya material *multiaxial* memiliki kemampuan untuk menahan beban lebih tinggi daripada material konvensional.

Survei penelitian sebelumnya dilakukan di beberapa galangan kapal *fiberglass* di dalam negeri yang sudah berpengalaman membangun kapal dengan material *fibreglass*. Survei ini bertujuan untuk mengidentifikasi *yard practices* mengenai jenis bahan, susunan laminasi dan prosedur laminasi kapal *fiberglass*. Dari hasil survei dan diskusi dengan ahli atau praktisi galangan, dilakukan pembuatan 4 (empat) jenis sampel secara terkontrol, seperti pada Gambar 5. Sampel dibuat dengan bahan serat dan susunan laminasi yang berbeda. Sampel I merupakan kombinasi WR dan CSM (disebut susunan serat konvensional), sedangkan sampel II, III, dan IV memakai serat *multiaxial* dan CSM (disebut susunan serat *multiaxial*).



Gambar 5 Pembuatan sampel uji.

Jenis bahan resin yang digunakan ada dua merek yang berbeda (resin A dan resin B), dimana keduanya umum digunakan di galangan, sehingga diperoleh 8 sampel uji tarik dan 8 sampel uji tekuk. Sampel uji tarik dibuat 5 (lima) spesimen, dan sampel uji tekuk dibuat 6 (enam) spesimen. Spesimen uji tarik dibuat dua variasi arah serat, yaitu 0° dan 90° , sehingga diperoleh total 80 spesimen uji. Sedangkan sampel uji tekuk tanpa perbedaan arah serat, sehingga seluruhnya terdapat 48 buah spesimen uji.



Gambar 4 Skema penelitian.

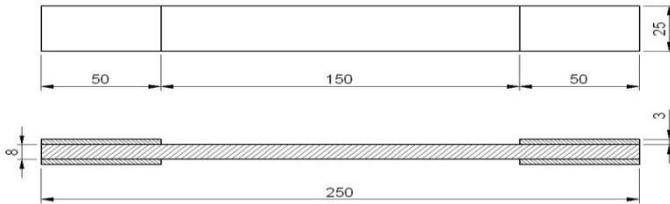
Sampel laminasi dibuat dengan metode *hand lay-up*, yang dilakukan secara terkontrol dalam *workshop* tertutup di PT. Global Indo, Surabaya, sesuai persyaratan *Rules* BKI 1996. Spesifikasi sampel dan spesimen ujinya ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Variasi jenis bahan dan susunan laminasi sampel uji.

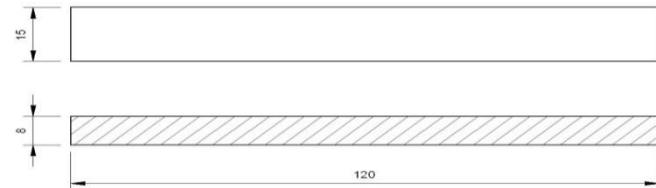
NO.	URAIAN	Susunan Laminasi							
		Resin A				Resin B			
		Sampel 1-A	Sampel 2-A	Sampel 3-A	Sampel 4-A	Sampel 1-B	Sampel 2-B	Sampel 3-B	Sampel 4-B
I	Urutan Laminasi								
	Lapisan 1	CSM 300	CSM 300	CSM 300	CSM 300	CSM 300	CSM 300	CSM 300	CSM 300
	Lapisan 2	CSM 450	CSM 450	CSM 450	CSM 300	CSM 450	CSM 450	CSM 450	CSM 300
	Lapisan 3	WR 600	BIAXIAL 800	DB 800/M225E	DB 800	WR 600	BIAXIAL 800	DB 800/M225E	DB 800
	Lapisan 4	CSM 450	CSM 450	DB 800/M225E	DB 800	CSM 450	CSM 450	DB 800/M225E	DB 800
	Lapisan 5	WR 800	BIAXIAL 800	DB 800/M225E	CSM 450	WR 800	BIAXIAL 800	DB 800/M225E	CSM 450
	Lapisan 6	CSM 450	CSM 450	DB 800/M225E	DB 800	CSM 450	CSM 450	DB 800/M225E	DB 800
	Lapisan 7	WR 800	BIAXIAL 800	CSM 300	CSM 450	WR 800	BIAXIAL 800	CSM 300	CSM 450
	Lapisan 8	CSM 450	CSM 450			CSM 450	CSM 450		
	Lapisan 9	WR 800	BIAXIAL 800			WR 800	BIAXIAL 800		
	Lapisan 10	CSM 450	CSM 300			CSM 450	CSM 300		
	Lapisan 11	WR 600				WR 600			
	Lapisan 12	CSM 450				CSM 450			
II	Ukuran Sampel Uji								
	Jumlah lapisan serat	12	10	7	7	12	10	7	7
	Tebal sampel (mm)	8.90	8.25	6.80	5.37	9.06	8.20	6.50	5.40
	Berat bahan rerat (gram)	1700	1400	1300	1000	1700	1400	1300	1000
	Dimensi sampel uji (mm)	700x350	700x350	700x350	700x350	700x350	700x350	700x350	700x350
	Berat rata2 sampel uji (kg/m2)	13.90	11.10	10.50	7.20	13.30	11.70	10.00	7.80
	Lama pengerjaan (menit)	34	26	20	20	30	25	20	15
III	Spesimen Uji Tarik								
	Jumlah spesimen (buah)	2x6	2x6	2x6	2x6	2x6	2x6	2x6	2x6
	Arah serat (derajat)	0 dan 90	0 dan 90	-45 dan +45	-45 dan +45	0 dan 90	0 dan 90	-45 dan +45	-45 dan +45
	Ukuran LxB (mm)	250x25	250x25	250x25	250x25	250x25	250x25	250x25	250x25
	Ukuran penjepit LxB (mm)	50x25	50x25	50x25	50x25	50x25	50x25	50x25	50x25
	Tebal penjepit (mm)	3	3	3	3	3	3	3	3
IV	Spesimen Uji Tekuk								
	Jumlah spesimen (buah)	6	6	6	6	6	6	6	6
	Ukuran LxB (mm)	120x15	120x15	120x15	120x15	120x15	120x15	120x15	120x15

Ukuran spesimen dibuat sesuai persyaratan uji yang berlaku (BKI, 2006), yaitu: spesimen uji tarik berukuran 250 x 25 mm seperti ditunjukkan

pada Gambar 6, dan spesimen uji tekuk berukuran 120 x 15 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6 Ukuran spesimen uji tarik.



Gambar 7 Ukuran spesimen uji tekuk.

Pembuatan dan pengujian spesimen dilakukan sesuai *rules* BKI 2006 (*Rules for Non-metallic Materials*), dimana *rules* ini mengacu pada *International Standard ISO 527-4* (1997) untuk uji tarik, dan *ISO 14125* (1998) untuk uji tekuk. Beberapa bagian penting yang diatur dalam standar ini antara lain:

1. Pembuatan spesimen uji harus mengacu standar DIN EN 2374, bagian 5.3 (Metode C) dengan mensejajarkan lapisan demi lapisan kain serat sesuai dengan arahnya, dan memenuhi kriteria ketebalan minimum untuk *bi-directional* sebesar 4mm.

2. Spesimen uji harus ditemper selama 16 jam pada suhu 40 °C, sesuai dengan metode preparasi spesimen uji DIN EN ISO 291.
3. Uji tarik dilakukan dengan mengikuti standar DIN EN ISO 527-4, dan uji tekuk mengikuti standar DIN EN ISO 14125, Metode A, masing-masing 6 buah spesimen.
4. Pengujian harus dilakukan pada tingkat kecepatan 1 persen per menit, tingkat iklim standar yaitu suhu 23 °C, dan tingkat kelembaban 50 persen.

Sesuai *rules* BKI 2006, sebelum diuji spesimen yang telah dibuat terlebih dahulu ditemper pada temperatur 40 derajat celcius

non-stop selama 16 jam, dengan alat pemanas yang ada di UPT BPPH-BPPT (Surabaya). Setelah ditemper, dilakukan pengukuran luas penampang masing-masing spesimen uji.

Pengujian spesimen dilakukan di UPT B2TKS-BPPT (Serpong). Lab ini sudah terakreditasi KAN (No: 077-IDN) dan KNAPP (No. PL 007-INA, P68-01.a). Peralatan uji yang digunakan meliputi: mikrometer, mesin uji RME 100 *Schenck Trebel*, sistem pencekam, peralatan pengukur regangan: *single strain gauge* dengan *gauge length* 6 mm, atau ≥ 3 mm, *exstensometer*, *X-t plotter*, *Amplifier KWS 3703*, dan data *logger*.

Untuk mengukur modulus elastisitasnya, satu spesimen uji tarik dari masing-masing kelompok dipasang *stensometer* dan ditempeli *strain gauge*. Nilai modulus elastisitas yang dihasilkan dianggap sama dengan spesimen lain dalam kelompoknya. Uji tarik dan uji tekuk dilakukan hingga terjadi patah, sehingga diperoleh nilai kuat tarik (MPa) dan nilai kuat tekuk (MPa), sesuai beban maksimum (Kgf) yang dicapai.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil uji tarik (*tensile test*) dan uji tekuk (*bending test*) yang telah dilakukan,

Tabel 5 Hasil uji tarik spesimen dengan resin A.

No.	Kode sampel	Nilai Kuat Tarik (MPa) Spesimen					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
1	I A 0°	121	135	134	144	126	132
2	II A 0°	150	175	163	171	167	165
3	III A 0°	205	206	205	201	170	197
4	IV A 0°	121	131	127	134	111	125
5	I A 90°	189	100	137	188	177	158
6	II A 90°	155	181	131	170	165	160
7	III A 90°	210	240	217	154	189	202
8	IV A 90°	166	153	134	138	137	146

Tabel 6 Hasil uji tarik spesimen dengan resin B.

No.	Kode sampel	Nilai Kuat Tarik (MPa) Spesimen					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
1	I B 0°	142	120	124	137	96	124
2	II B 0°	181	147	170	147	183	166
3	III B 0°	71	188	180	185	162	157
4	IV B 0°	125	164	168	132	120	142
5	I B 90°	177	200	192	171	164	181
6	II B 90°	199	164	232	176	140	182
7	III B 90°	188	171	176	170	177	176
8	IV B 90°	140	159	185	147	149	156

diperoleh masing-masing hasil uji tarik dalam bentuk fisik ditunjukkan pada Gambar 7, dan hasil uji tekuk pada Gambar 8. Sedangkan hasil kuat tarik ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6, dan hasil kuat tekuknya pada Tabel 8 dan Tabel 9.



Gambar 8 Hasil uji tarik.



Gambar 9 Hasil uji tekuk.

Tabel 7 Hasil uji tekuk spesimen dengan resin A.

No.	Kode sampel	Nilai Kuat Tekuk (MPa) Spesimen						Rata-rata
		1	2	3	4	5	6	
1	I A 0°	184	207	194	222	189	206	200
2	II A 0°	203	249	236	235	214	226	227
3	III A 0°	285	296	267	317	338	319	304
4	IV A 0°	259	254	278	244	215	236	248
5	I A 90°	186	202	227	229	239	212	216
6	II A 90°	322	277	300	266	257	272	282
7	III A 90°	341	321	320	310	295	300	314
8	IV A 90°	376	319	316	335	293	266	317

Tabel 8 Hasil uji tekuk spesimen dengan resin B.

No.	Kode sampel	Nilai Kuat Tekuk (MPa) Spesimen						Rata-rata
		1	2	3	4	5	6	
1	I B 0°	213	207	191	200	221	210	207
2	II B 0°	370	339	307	322	324	272	322
3	III B 0°	418	452	436	351	364	353	396
4	IV B 0°	204	222	272	199	240	214	225
5	I B 90°	262	229	241	229	227	246	239
6	II B 90°	293	339	353	291	336	329	323
7	III B 90°	240	252	240	246	260	231	245
8	IV B 90°	330	337	335	283	298	308	315

Hasil perhitungan menurut *rules* BKI 2006, nilai minimum yang disyaratkan (X_{min}) untuk kuat tarik adalah 121,23 MPa, dan untuk kuat tekuk adalah 116,15 MPa. Nilai tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan (BKI, 2006):

Kuat tarik

$$X_{min} = \alpha \left[X_{ref} \left(\frac{\phi}{0.4} \right) \right] - [1278 \phi^2 - 510 \phi + 123] \quad 1)$$

Kuat tekuk

$$X_{min} = \alpha \left[X_{ref} \left(\frac{\phi}{0.4} \right) \right] - [502 \phi^2 - 106.8] \quad 2)$$

Dimana,

X_{min} = Nilai minimum yang disyaratkan (dalam MPa)

X_{ref} = Nilai acuan
(kuat tarik = 500 MPa)
(kuat tekuk = 650 MPa)

α = Faktor untuk susunan serat penguat
($\alpha = 0.55$ untuk kuat tarik dan kuat tekuk dengan sampel 0°/ 90°)

ϕ = kandungan volume serat
(0.3 atau 30%, sesuai komposisi bahan laminasi yang digunakan dalam sampel)

Hasil uji tarik dan uji tekuk dalam penelitian ini menunjukkan bahwa, seluruh spesimen memenuhi nilai minimum yang disyaratkan (BKI, 2006). Berbeda dengan penelitian sebelumnya (Ma'ruf, 2011), dimana 30 persen hasil uji spesimen tidak memenuhi persyaratan *rules* BKI. Pada penelitian tersebut sampel ujinya dibuat sendiri oleh 7 (tujuh)

galangan yang berbeda, dengan menggunakan serat *woven roving* (WR) dan *chopped strand mats* (CSM). Sedangkan resin yang digunakan pada kedua penelitian ini adalah sama, yaitu dua merek resin yang berbeda.

Perbedaan nilai kuat tarik dan kuat tekuk yang diperoleh dari penelitian ini rata-rata hanya berkisar antara 5–15 persen. Sampel III memiliki nilai nilai kuat tarik dan kuat tekuk tertinggi, baik yang memakai resin A maupun resin B. Penggunaan 2 (dua) merek resin yang berbeda tidak memiliki perbedaan kuat tarik dan kuat tekuk yang signifikan. Perbedaan kekuatan yang signifikan ditunjukkan dari jenis bahan seratnya. Dengan kualitas serat yang semakin baik, maka kandungan seratnya akan semakin tinggi dibandingkan dengan resinnya, sehingga diperoleh kekuatan yang lebih baik.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan adanya perbedaan hasil uji terhadap sampel yang menggunakan jenis serat *fiberglass* yang sama. Hal ini memberi indikasi bahwa, terdapat faktor lain yang mempengaruhi kekuatan laminasi *fiberglass*, antara lain: kondisi proses laminasi, peralatan kerja yang digunakan, keterampilan tenaga kerja, dan kondisi lingkungan tempat proses laminasinya.

Penggunaan serat *multiaxial* menyerap resin lebih sedikit dibandingkan dengan serat WR. Sebagai contoh, salah satu kapal 30 GT pesanan Kementerian Kelautan dan Perikanan, yang dibangun dengan menggunakan serat *multiaxial* di sebuah galangan di Tangerang

tahun 2011, mampu menghemat penggunaan resin sekitar 30 persen dari total pemakaian dengan serat konvensional, sesuai informasi pimpinan galangan pembangun. Dengan demikian, kapal menjadi lebih ringan, sehingga daya angkutnya menjadi lebih besar.

Serat *multiaxial* juga memiliki struktur bahan yang dapat meningkatkan kekuatan laminasi, sehingga laminasi dengan menggunakan material ini tidak perlu dibuat setebal material konvensional. Hal ini dapat mempercepat proses pembuatan kapal dengan penggunaan tenaga kerja yang lebih sedikit. Dengan demikian, penggunaan material serat *multiaxial* bisa lebih ekonomis, tetapi hal ini masih perlu dikaji secara khusus karena harga material ini jauh lebih mahal daripada material konvensional.

Saat ini serat *multiaxial* sudah mulai diproduksi di dalam negeri, dan sudah banyak digunakan di beberapa produk industri dalam negeri, termasuk produk kapal *fiberglass*. Salah satu perusahaan galangan di Tangerang sudah memproduksi jenis serat ini dengan kapasitas produksi 100 ton/bulan. Namun demikian, bahan baku utama benang gelas masih impor, walaupun bahan baku dasarnya yaitu pasir silika cukup tersedia di dalam negeri. Oleh karena itu, diperlukan dukungan pemerintah untuk mengembangkan industri *fiberglass* di dalam negeri, agar bahan baku kapal *fiberglass* dan industri pengguna lainnya dapat diperoleh dengan harga lebih bersaing.

Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa, material serat *multiaxial* dapat menjadi solusi perbaikan mutu konstruksi lambung kapal *fiberglass*, dan berpotensi dikembangkan menjadi salah satu material standar dalam pembuatan kapal *fiberglass*. Dengan penggunaan bahan serat gelas yang kuat tentunya akan meningkatkan mutu konstruksi lambung kapal, sehingga keselamatan pelayaran akan lebih terjamin.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa, material serat gelas *multiaxial* memiliki kuat tarik dan kuat tekuk yang lebih tinggi dibandingkan dengan material konvensional (WR+CSM), dan kekuatan laminasi *fiberglass* tidak banyak tergantung pada jenis resinnya, melainkan bergantung pada jenis serat gelas yang digunakan. Semakin baik kualitas serat yang digunakan, maka kandungan seratnya akan semakin tinggi dibandingkan dengan resinnya, sehingga kekuatannya akan semakin baik.

Faktor lain yang mempengaruhi kekuatan laminasi *fiberglass*, adalah: kondisi proses laminasi, peralatan kerja yang digunakan, keterampilan tenaga kerja, dan kondisi lingkungan tempat melakukan proses laminasi.

Oleh karena itu, pada makalah ini diberikan beberapa saran, yaitu: perlu adanya standarisasi bahan serat gelas, khususnya dalam rangka peningkatan mutu konstruksi laminasi lambung kapal *fiberglass* dan keselamatan pelayaran di perairan Indonesia. Namun demikian, penggunaan material serat gelas *multiaxial* dan jenis lainnya tetap perlu diuji dan disertifikasi oleh BKI sebagai pihak berwenang untuk itu di dalam negeri, sebelum material tersebut dijadikan standar. Selain itu, perlu dilakukan kajian lebih lanjut tentang standarisasi peralatan dan proses pembuatan kapal *fiberglass*, serta pelatihan dan sertifikasi pekerja dalam proses pembangunan kapal *fiberglass*, sehingga hasil laminasi yang dilakukan galangan dapat lebih terjamin.

DAFTAR PUSTAKA

- BKI. (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.
- Cripps, D. (2000), *Guide to Composites*; www.netcomposites.com
- Franzke, G. (1999), *Improved Warp Knitting Machine for Symmetric Multi-Plies*, Institute of Textile and Clothing Technology, TU Dresden, 01062 Dresden, Germany.
- Gay, D., et al. (2003). *Composite Materials, Design and Applications*; CRC Press LLC.
- Greene, E. (1999). *Marine Composites*, 2nd ed, Eric Greene&Associates.
- 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*.
- Judawisastro, H., et al (2009). *Analisis Kekuatan Komposit Epoksi Berpenguat Serat Gelas*:

- Perbandingan Penggunaan Preform WR 600 Lokal dan Impor*, Proceedings Seminar Nasional Material dan Metalurgi V, ITS Surabaya
- Judawisastra H., Suhartiningsih, A. (2008). Karakterisasi Komposit Polimer Berpenguat Serat untuk Rekayasa Balik Monofin, *Prosiding Seminar Nasional Metalurgi dan Material 2008 (SENAMM 2):Material Processing, Development and Reliability*, ITB, Bandung.
- Ma'ruf, B. (2012). Kajian Yard Practices Pembuatan Kapal *Fiberglass* di Galangan Kapal Nasional, *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, BPPT, Volume 6 Nomor 2, Agustus.
- Ma'ruf, B., et al. (2011). *Kajian Standarisasi Penggunaan Material dan Proses Laminasi Lambung Kapal Fiberglass Melalui Studi Kasus di Galangan dan Pengujian di Laboratorium*, laporan hasil penelitian tidak dipublikasikan, Program Riset Insentif Kompetitif KNRT Tahun 2011.
- Ma'ruf, B., Suhadi, A. (2011). Kajian Kekuatan Laminasi Lambung Kapal *Fiberglass* Melalui Survei Galangan dan Uji Material, *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, BPPT, Volume 5 Nomor 2, Agustus, 191-198.
- Ma'ruf, B. (2011). Studi Standarisasi Konstruksi Laminasi Lambung Kapal *Fiberglass*, *Jurnal Standardisasi*, BSN, Volume 13, Nomor 1, 16:25.
- Ma'ruf, B., et al. (2010). *Modernisasi dan Standarisasi Teknologi Pembangunan Kapal Sefhull Berbahan Fiberglass*, laporan hasil penelitian tidak dipublikasikan, Program Insentif Peningkatan kemampuan Peneliti dan Perekayasa, KNRT Tahun 2010.
- Mazumdar, S.K. (2002). *Composites Manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering*, CRC Press LLC.
- Peters, S.T. (1998). *Handbook of Composites*, 2nd ed, Chapman & Hall, London.
- www.lintasjakarta.com. (2009). *Kapal Feri Dumai Express 10 tenggelam*, 29 November 2009.
- www.suarakaryaonline.com. (2009). *KM Dumai Ekspres 10 Tak Lolos Klasifikasi*, 24 November 2009.