

Kajian Disain Konstruksi Laminasi Lambung Prototipe Kapal SEP-Hull 8 Meter

Buana Ma'ruf¹

Abstrak

Prototipe kapal *Surface Effect Planning Hull (SEP-Hull)* 8 meter yang telah dibangun pada tahun 2009, merupakan kapal dengan sistem injeksi udara yang memungkinkan kapal melaju dengan kecepatan tinggi dan konsumsi bahan bakar yang minimal, sehingga cocok digunakan sebagai kapal patroli, kapal wisata pantai, dan sejenisnya. Kapal ini didisain berbahan fiberglass dan diharapkan kelak dapat dibangun skala komersil. Di sisi lain, hasil survei di beberapa galangan fiberglass dalam negeri menunjukkan, pembuatan kapal fiberglass umumnya belum mengacu pada persyaratan kelas, sehingga kekuatan konstruksi laminasinya sulit dijamin. Makalah ini mengkaji aspek disain konstruksi prototipe kapal SEP-Hull dan pengujian spesimen (uji tarik dan uji tekuk) laminasi lambung kapal tersebut sesuai rules BKI 2006. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa, nilai kuat tekuknya tidak memenuhi nilai minimum sebagaimana disyaratkan *rules* BKI. Berdasarkan hasil diskusi dengan pihak BKI dan praktisi galangan, diperoleh sebuah usulan penyempurnaan disain konstruksi dan susunan laminasi fiberglass untuk pembangunan kapal SEP-Hull skala komersil di masa mendatang, yang mengacu pada *rules* BKI.

Kata kunci : kapal fiberglass, kapal SEP-Hull, konstruksi laminasi, uji spesimen

Abstract

The prototype of Surface Effect Planning Hull (SEP-Hull) vessel 8 meter built in 2009, is an air injection system ship that allow the ship runs with high speed and minimum fuel consumption, therefore suitable for use as patrol boat, tourism boat, and similar purpose. The vessel is designed to use Fiberglass Reinforced Plastics (FRP) and it is intended to be commercially built in the future. Beside that, the survey result in some domestic fiberglass shipyards shows, construction of fiberglass vessels generally do not comply the class requirements, therefore their hull construction is difficult to ensure. This paper is aiming at assessing the construction design of the vessel and specimen test (tensile and bending tests) of the ship's hull lamination based on the rules of BKI 2006. The result shows, its bending strength value does not exceed the minimum value required by the rules. Based on discussion results with BKI and some shipyard engineers, an improved construction design is proposed for building SEP-Hull vessels commercially in the future, that comply to the rules of BKI.

Keywords: fiberglass ship, SEP-Hull vessel, lamination construction, specimen test

PENDAHULUAN

Selain faktor keselamatan dan kenyamanan, faktor kecepatan dan *power-saving* merupakan prioritas utama bagi pemilik/ operator kapal. Berbagai penelitian telah dilakukan guna meningkatkan efisiensi pemakaian bahan bakar. Salah satunya adalah, memilih bentuk badan kapal yang optimal (total tahanan kecil) sehingga *power* yang digunakan untuk mendorong kapal lebih kecil atau kecepatan bertambah. Klasifikasi bentuk badan kapal terdiri dari *displacement hull* dan *planing hull*. Kapal

'*displacement hull*' disebut juga kapal berkecepatan rendah hingga sedang (dengan Froude number $F_n < 0.5$) dan kapal '*planing hull*' memiliki kecepatan tinggi (dengan Froude number $F_n > 0.6$).

Konsep **SEP-HULL** (*Surface Effect Planing Hull*) *Craft* dengan sistem pelumasan udara (*air lubrication*) di bawah badan kapal, merupakan salah satu solusi untuk hal tersebut. Konsep ini merupakan disain kapal yang memanfaatkan efek permukaan air di bagian bawah badan kapal, sehingga memberikan kecepatan yang lebih signifikan. Hasil uji model yang telah

1. UPT BPPH-BPPT, Surabaya

dilaksanakan di laboratorium UPT BPPH telah ditindaklanjuti dengan pembangunan prototipe kapal SEP-Hull berbahan fiberglass berukuran 8 meter pada tahun 2009. Pada tahun 2010, tim riset UPT BPPH telah melakukan uji coba berlayar (*seatrial*) pada prototipe kapal ini, dimana hasilnya menunjukkan efisiensi bahan bakar hingga 15 persen.

Kapal jenis ini cocok digunakan untuk operasi dan patroli di wilayah pantai, kapal wisata pantai, kapal penumpang antar pulau-pulau kecil, *speed boats* dan sejenisnya. Kapal-kapal untuk keperluan tersebut umumnya berukuran kecil dan berkecepatan tinggi, sehingga konstruksinya harus ringan dengan rasio berat dan volume yang rendah. Oleh karena itu kapal jenis ini umumnya berbahan fiberglass (*Fiberglass Reinforced Plastics*) atau berbahan aluminium. Kapal berukuran kecil cenderung menggunakan bahan fiberglass, dan kapal-kapal *high speed* berukuran besar hingga 40 meter cenderung menggunakan bahan aluminium (Ma'ruf, 2004).



Gbr 1. Prototipe SEP-Hull 8m

Sebuah kajian disain menunjukkan bahwa, kapal jenis SEP-Hull ini potensial diproduksi secara massal dan dikembangkan ke ukuran yang lebih besar hingga 20 meter di masa mendatang (Jamaluddin dan Ma'ruf, 2010). Pengembangan dan produksi massal kapal jenis ini direkomendasikan juga menggunakan bahan fiberglass, karena konstruksinya ringan, harganya murah, dan proses produksinya cepat (Ma'ruf dan Jamaluddin, 2010). 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).

Di sisi lain, 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 galangan pembangun prototipe kapal tersebut dan beberapa galangan kapal fiberglass lainnya di dalam negeri pada tahun 2009 menunjukkan bahwa, disain konstruksi dan proses produksi kapal fiberglass belum mengacu pada persyaratan klasifikasi, khususnya pada

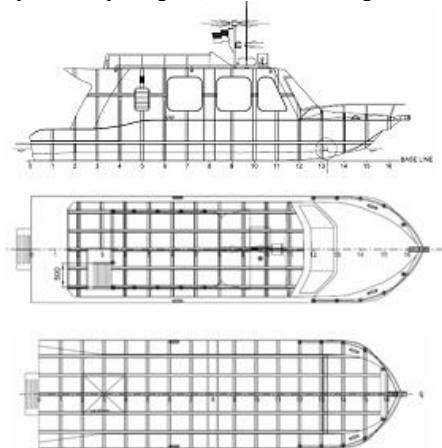
kapal-kapal berukuran di bawah 24 meter (Ma'ruf, 2009).

Pada 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, sehingga kekuatan konstruksinya sulit dijamin (Ma'ruf, 2010a). Oleh karena itu, pembangunan kapal SEP-Hull skala komersil (*mass-product*) perlu terlebih dahulu melakukan kajian konstruksi laminasi lambung pada prototipe kapal SEP-Hull 8 meter tersebut, dan memberikan rekomendasi perbaikan/penyempurnaan disain konstruksi yang diperlukan, dengan mengacu pada persyaratan *rules* BKI. Rekomendasi tersebut diharapkan kelak dapat digunakan oleh pihak pemilik/pemesan dan galangan-galangan kapal fiberglass di dalam negeri, sehingga mutu konstruksi kapal jenis ini lebih terjamin.

KAJIAN PUSTAKA

Sesuai spesifikasinya (BPPH, 2009), prototipe kapal SEP-Hull pada Gambar 2 terbuat dari bahan *fiberglass* (FRP), dengan ukuran dan data-data pokok sebagai berikut:

Panjang keseluruhan (LOA)	: 8.256 M
Panjang garis air (LWL)	: 7.446 M
Lebar (B max)	: 2.285 M
Sarat (d) approx	: 0.278 M
DWT	: 1.8 Ton
Mesin penggerak, outboard	: 2x85 BHP
Kecepatan dinas	: 25 Knots
Kecepatan maksimum	: 30 Knots
Penumpang	: 9 orang
Payload (daya angkut) max.	: 700 kg



Gbr. 2 Disain kapal SEP-Hull 8 meter

Perhitungan dan gambar-gambar yang disiapkan untuk pembuatan prototipe kapal tersebut meliputi: *lines and body plan, detail general arrangement, longitudinal frame construction, lateral frame construction, sectional frame construction.*

Kapal-kapal untuk operasi pantai umumnya berukuran kecil dan berkecepatan tinggi, sehingga konstruksinya harus ringan dengan rasio berat dan volume yang rendah. Oleh karena itu kapal jenis ini umumnya berbahan fiberglass (*Fiberglass Reinforced Plastics*) atau berbahan aluminium. Kapal berukuran kecil cenderung menggunakan bahan fiberglass, dan kapal-kapal *high speed* berukuran besar hingga 40 meter cenderung menggunakan bahan aluminium (Ma'ruf, 2004). Sedangkan bahan baja tidak cocok karena konstruksinya berat. 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 ³	kN/m ² x10	kN/m ² 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/tekek minimum untuk laminasi lambung kapal fiberglass (BKI, 2006). Namun kedua *rules* tersebut hanya diberlakukan untuk kapal berukuran panjang 24 meter ke atas. Penggunaan *rules* tersebut untuk kapal ukuran kecil hanya bersifat *optional* (jika

diminta oleh pihak pemesan). Dengan demikian, kapal-kapal fiberglass berukuran kecil yang umumnya tidak dikelaskan, sulit dijamin kekuatan konstruksi lambungnya (Ma'ruf, 2010a).

Bahan utama fiberglass untuk kapal secara umum terdiri dari: gelcoat, resin, *Chopped Strand Mats* (CSM) atau disebut Mat, WR (woven roving). Sebagaimana yang disyaratkan kelas (BKI, 1996), kandungan resin adalah 25 s.d. 35 persen, sedangkan jenis Mat 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 adalah: 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).

Rules tersebut terdiri dari *rules* tentang *Fiberglass Reinforced Plastics Ships* (BKI, 1996), dan tentang *Non-Metallic Materials Part 1* (BKI, 2006). Sesuai *rules* (BKI, 2006), pengujian yang disyaratkan adalah uji tarik dan uji tekuk/lengkung dengan jumlah sampel (spesimen) masing-masing uji adalah enam buah. 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*.

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan dengan pendekatan kajian pustaka, survei lapangan, dan pengujian spesimen laminasi lambung prototipe kapal SEP-Hull di laboratorium. Kajian pustaka mencakup kajian *rules* BKI, hasil penelitian pendahuluan, dan referensi terkait. Survei lapangan dilakukan di galangan pembangun prototipe kapal SEP-Hull dan beberapa galangan kapal fiberglass lainnya yang sudah berpengalaman membangun kapal fiberglass. Data dan informasi ini diperoleh melalui diskusi dengan praktisi galangan, pengumpulan data sekunder, dan pengamatan langsung pada proses pembuatan kapal fiberglass di lapangan.

Disain sampel uji 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. Untuk spesimen fiberglass yang menggunakan serat berbentuk mat, nilai

minimum yang disyaratkan *rules* (BKI, 2006) untuk kedua jenis uji tersebut adalah:

Kuat Tarik (*tensile strength*),

$$R_z = 1278^2 - 510 + 123 \text{ [Mpa]} \dots\dots\dots (1)$$

Kuat Tekuk (*bending Strength*),

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

dimana = *percentage of fibre weight content*

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

$$X_{\min} = \alpha \left[X_{\text{ref}} \left(\frac{\phi}{0.4} \right) \right] \dots\dots\dots (3)$$

Dimana,

X_{\min} : *minimum required value*

X_{ref} : *ref value for fiber volume content* = 0,4

: *factor for lay-up*

: *fiber volume content* 0,2 0,6

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 [N/mm²] dan nilai kuat tekuk [N/mm²], 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.

Hasil uji spesimen tersebut digunakan di dalam menganalisis susunan laminasi lambung prototipe kapal SEP-Hull dan menyempurnakan disain konstruksinya berdasarkan *rules* BKI yang berlaku. Perhitungan dan penyempurnaan disain konstruksi dilakukan bersama Divisi Lambung dan Material PT BKI (Persero), yang mengacu pada disain awal prototipe kapal SEP-Hull dan *rules* BKI, sehingga diperoleh usulan penyempurnaan disain konstruksi laminasi lambung kapal SEP-Hull jika kapal jenis dan ukuran yang sama akan diproduksi secara komersil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan di 6 (enam) galangan kapal di dalam negeri, yang sudah berpengalaman membangun kapal fiberglass, termasuk galangan pembangun prototipe kapal SEP-Hull 8 meter. Pengumpulan data dan informasi dilakukan melalui diskusi dengan ahli/praktisi galangan, pengumpulan data sekunder, dan pengamatan langsung di lapangan. Ke enam galangan tersebut meliputi: CV Fiberglass Perkasa (Banyuwangi), PT Galangan Teluk Bajau (Samarinda), PT Marinatama Gemanusa (Batam), PT Palindo (Tanjungpinang), CV Siagan Boat (Makassar), dan PT Carita Boats (Bajonegara, Banten). Fokus kegiatan survei ini adalah identifikasi *yard practices* di masing-masing galangan, mencakup: jenis dan ukuran kapal yang telah dibangun, jenis bahan fiberglass yang umum digunakan, susunan dan jumlah lapisan laminasi, dan *rules* dan *yard standards* yang digunakan pada pembuatan kapal fiberglass, serta masukan untuk penyempurnaan konstruksi kapal SEP-Hull 8 meter.

Bahan-bahan utama fiberglass yang digunakan bervariasi di antara galangan-galangan tersebut, yaitu: resin, Mat, dan 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: Mat (300, 450, dan 600 gram/m²), biaxial mat (BAM 900 dan 1250 gram/m²), dan WR (600, 800, dan 900 gram/m²).

Susunan laminasinya dibuat sesuai pengalaman (*yard practices*) tanpa *engineering standards* yang bersifat baku. Namun demikian, di hampir semua galangan, setelah lapisan *gelcoat* selalu diawali dengan Mat 300 pada lapisan pertama. 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 Mat 450 dan WR 600 atau 800 (lapisan Mat dan WR secara bergantian), atau Biaxial Mat (kombinasi mat dan roving), dan lapisan terakhir selalu Mat 450 agar permukaan terluar (bagian dalam) lebih halus.

Pembangunan prototipe kapal SEP-Hull 8 meter yang dibangun tahun 2009, sesuai spesifikasinya (BPPH, 2009), susunan laminasinya terdiri dari: kulit bagian luar dengan *gelcoat type weather resistant*, lapisan berikutnya adalah Mat 300 gram/m², Mat 450

gram/m², WR 800 gram/m². Resin yang digunakan adalah resin tipe *water resistant* dengan sertifikat Llyod, terdiri dari BQTN 157 dan *epoxy resin*. Spesifikasi laminasi lambung prototipe kapal SEP-Hull tersebut dan kapal-kapal sejenis yang sedang dibangun di galangan lain ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi laminasi beberapa galangan

Lokasi Galangan dan Kapal	Susunan Laminasi	Jenis Resin	Fiber Content
Banyuwangi: Sep-Hull 8 m	Mat 300, WR 600, Mat 600, WR 600, Mat 450	Yucalac 157 BQTN	0.290
Samarinda: Seatruck 8 m	Mat 300, Mat 450, Mat 450, WR 800, Mat 450	405 EPA	0.250
Batam: Passenger 42 m	Mat 300, biaxial mat/BAM 900, mat 450, BAM 900	Anti api 209 PT FR-26	0.371
Tanjungpinang: Passenger 36 m	Mat 450, M 800, Mat 450, M 800	405 EPA	0.387
Makassar: Kapal 12 m	Mat 450, WR 800, Mat 450, WR 800, Mat 450	Everpol 324 AR-1	0.336
Bojonegara: Patrol Boat 30 m	Mat 300, WR 800, Mat 450, WR 800, Mat 450	Yucalac 157 BQTN	0.403

Ket.: Tidak termasuk lapisan Gelcoat (lapisan pertama)

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 mengkelaskan 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.

Hasil Uji Spesimen

Pembuatan sampel laminasi pada penelitian ini dilakukan di galangan pembangun prototipe kapal SEP-Hull 8 meter pada tahun 2010, yang terdiri dari sampel laminasi untuk uji tarik dan uji tekuk (masing-masing 6 buah). Sampel tersebut dibuat sesuai kondisi sebenarnya ketika kapal tersebut dibangun tahun 2009, dan diawasi langsung oleh tim peneliti



Gbr 3. Pembuatan Spesimen Uji

yang melibatkan tim dari PT BKI Pusat, seperti pada Gambar 3. Sebelum diuji sampel tersebut ditemper di UPT BPPH pada temperatur 40 derajat *celcius* selama 16 jam,

sebagaimana disyaratkan pada *rules* BKI 2006. Setelah itu luas penampang masing-masing sampel diukur.

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 (Gambar 4), sehingga diperoleh kuat tarik [N/mm²] dan kuat tekuk [N/mm²]



Gbr 4. Spesimen yang telah diuji

dari masing-masing sampel uji, sesuai beban maksimum [Kgf] yang dicapai. Dari hasil uji tersebut diperoleh nilai kuat tarik dan kuat tekuk rata-rata.

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 dan roving, 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.

Tabel 3. Hasil uji tarik dan uji tekuk

Nomor Sampel	Hasil Uji Tarik [N/mm ²]	Hasil Uji Tekuk [N/mm ²]
1	85	124
2	99	141
3	120	155
4	126	153
5	123	132
6	93	154
Rata-rata	108	143
Syarat Min.	83	149

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan, nilai kuat tarik rata-rata memenuhi syarat minimal, sedangkan nilai kuat tekuk rata-ratanya tidak memenuhi syarat minimal yang disyaratkan BKI. Hasil ini sama dengan hasil uji tarik dan uji tekuk yang dilakukan dengan sampel terpisah oleh B2TKS BPPT (B2TKS, 2009), walaupun pengujiannya tanpa dilakukan temper terlebih dahulu. Hasil pengujian ini

mengindikasikan bahwa, lambung prototipe kapal SEP-Hull tidak memenuhi kekuatan konstruksi sesuai persyaratan BKI, terutama kerawanan ketika lambung kapal mengalami benturan.

Hasil pengujian tersebut didiskusikan bersama tim dari BKI dengan ahli/praktisi galangan secara terpisah di tiga galangan. Hasil diskusi tersebut diperoleh bahwa, lemahnya konstruksi laminasi fiberglass antara lain disebabkan: komposisi bahan, susunan laminasi, perlakuan/penyimpanan bahan, dan proses laminasi yang kurang sempurna (antara lain: tempat, suhu, cuaca, dan kerataan dan kepadatan laminasinya).

Disain Konstruksi dan Laminasi

Sesuai hasil kajian dan *redesign* konstruksi (perhitungan dan gambar ulang), yang dibuat bersama Divisi Lambung BKI dan mengacu pada *rules* BKI Tahun 1996⁹⁾, maka perlu dilakukan penyempurnaan pada beberapa bagian konstruksi kapal, jika kapal Sep-Hull akan dibangun dalam skala komersil di masa mendatang, antara lain:

- *Scantling* berubah, antara lain: tebal laminasi, dan modulus penampang gading-gading/penegar.
- Sistem konstruksi utamanya menggunakan sistem konstruksi melintang (pada disain awalnya tidak jelas).
- Secara umum modulus penampang lebih besar dari disain awal, seperti: penumpu tengah, wrang, gading bangunan atas, balok geladak bangunan atas, dll.
- Jumlah pembujur pada bangunan atas dan *bottom* dikurangi dari lima buah menjadi tiga buah, konsekuensinya modulus penampang melintang balok atas dan wrang alas diperbesar.
- Jarak gading-gading tetap (yaitu: 500 mm), tetapi modulusnya diperkecil.
- Untuk kapal dengan panjang 65 meter, jumlah sekat minimal tiga buah (untuk mesin di belakang), sesuai *Rules* BKI Vol II Tahun 2009¹⁰⁾. Sementara prototipe kapal Sep-Hull memiliki dua sekat.

Disain konstruksi laminasi prototipe kapal (disain awal) perlu disempurnakan karena disain tersebut belum didasarkan pada *Rules* BKI (*Fiberglass Reinforced Plastics Ships, Rules and Regulation for the Classification and Construction of Ships*, 1996. Hasil disain konstruksi yang telah dibuat ulang bersama mitra riset BKI diperoleh bahwa, perubahan

utama terletak pada sistem konstruksi utamanya yang menggunakan sistem konstruksi memanjang (pada disain awalnya sistem konstruksi tidak jelas). Untuk itu, ukuran penampang konstruksi memanjang kapal perlu diperkuat, mengingat tipe kapal ini memiliki rasio L/B yang cukup besar.

Dari hasil perhitungan disain konstruksi kapal Sep-Hull 8 meter menurut *rules* BKI 1996, dan gambar-gambar konstruksinya (Ma'ruf, 2010a), perbedaan yang terjadi antara disain awal dengan disain ulang (sesuai syarat minimum dari *rules* BKI 1996) pada beberapa bagian konstruksi dan usulan standar aplikasinya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbedaan ukuran konstruksi lambung

Uraian	Disain Awal	Sesuai Rules	Usulan Aplikasi
Penampang memanjang			
a. Tengah	65x50x6	140x6+60x8	140x6+60x8
b. Alas	65x30x3	30x30x2,5	30x30x3
Balok geladak			
a. Pembujur	55x50x3	40x30x4,5	40x30x5
b. Bangunan atas	55x50x3	40x30x4,5	40x30x5
Gading-gading			
a. Utama	65x50x4	30x30x4,5	30x30x5
b. Bangunan atas	55x50x3	40x30x4,5	40x30x5
Konstruksi sekat			
a. Kulit	6	6	6
b. Penegar	50x50x4	50x60x3	50x60x3
Tebal Kulit			
a. Lunas (keel)	12	12	12
b. Alas (bottom)	6	8,7	10
c. Sisi	6	8	8
d. Geladak BA	6	4,5	6
e. Dinding gel. BA	6	4,5	6
Tinggi Wrang	65	140	140

Usulan standar aplikasi tersebut didasarkan pada *yard practices* dan hasil diskusi praktisi/ahli, dimana tebal setiap lapisan laminasi adalah 1 mm sehingga dibulatkan ke atas. Sedangkan ketebalan kulit dibulatkan ke atas hingga mencapai jumlah lapisan genap. Sesuai hasil perhitungan menurut BKI tersebut, berat kapal berkurang sekitar 359 kg atau sekitar 16 persen dari berat kapal kosong sesuai disain konstruksi prototipe kapal Sep-Hull (2.150 kg).

Di sisi lain, berat kapal prototipe tersebut juga melebihi disainnya (sekitar 1.900 kg), dan sarat kapal aktual pada saat *seatrial* lebih besar sekitar 20% dibanding sarat pada disain kapal sehingga membuat *bubble system* kapal tidak dapat bekerja optimal. Dengan demikian, jika kapal SEP-Hull dibangun sesuai disain konstruksi BKI, maka berat kapal kosong

akan menjadi sekitar 1.800 kg. Kondisi ini masih lebih baik daripada *overweight* seperti yang terjadi pada prototipe kapal tersebut.

Dari hasil kajian terhadap susunan lapisan laminasi pada prototipe kapal SEP-Hull 8 meter, dan hasil diskusi praktisi/ahli di beberapa galangan, diusulkan lapisan pertama selalu menggunakan mat 300 gr/m², agar permukaannya halus dan mudah dibentuk sesuai lengkungan bodi kapal. Lapisan berikutnya adalah mat 450 dan roving 600 atau 800 (saling bergantian), dan terakhir selalu memakai mat agar lebih halus.

Dengan demikian, tebal kulit alas (*bottom*) berubah dari 6 mm menjadi 10 mm, dan tebal kulit sisi berubah dari 6 mm menjadi 8 mm. Pokok-pokok perubahannya lainnya adalah sebagai berikut: modulus penampang gading-gading (jarak gading tetap yaitu 500 mm), dan jumlah sekat ditambah dari dua buah menjadi tiga buah. Untuk kapal dengan panjang 65 meter, jumlah sekat minimal tiga buah (untuk mesin di belakang), sesuai *Rules* BKI Vol II Tahun 2009.

Sesuai hasil disain konstruksi dan diskusi praktisi/ahli di beberapa galangan kapal fiberglass di dalam negeri, diperoleh sebuah usulan jenis bahan, susunan dan jumlah lapisan laminasi kulit lambung kapal Sep-Hull 8 meter, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Bahan dan susunan lapisan laminasi lambung

Lapisan	Lunas	Bottom	Sisi	Geladak	B. Atas
Luar	Gelcoat	Gelcoat	Gelcoat	Gelcoat	Gelcoat
1	Mat 300	Mat 300	Mat 300	Mat 300	Mat 300
2	Mat 450	Mat 450	Mat 450	Mat 450	Mat 450
3	WR 600	WR 600	WR 600	WR 600	WR 600
4	Mat 450	Mat 450	Mat 450	Mat 450	Mat 450
5	WR 800	WR 800	WR 800	WR 800	WR 800
6	Mat 450	Mat 450	Mat 450	Mat 450	Mat 450
7	WR 800	WR 800	WR 800		
8	Mat 450	Mat 450	Mat 450		
9	WR 800	WR 800			
10	Mat 450	Mat 450			
11	WR 800				
12	Mat 450				

Sedangkan resin yang dapat digunakan ada beberapa jenis antara lain: resin 405 EPA, Yucalac 157 BQTN, Everpol 324 AR-1, dan Everpol 3610 R. Sesuai hasil uji spesimen dari salah satu galangan yang telah dilakukan, dengan tiga jenis resin yang berbeda diperoleh urutan terbaik adalah resin Everpol 3610 R, Everpol 324 AR-1, dan terakhir adalah Yucalac 157 BQTN (Ma'rif at al, 2010a).

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Pembuatan kapal fiberglass di galangan-galangan kapal fiberglass di dalam negeri umumnya belum mengacu pada rules klas/BKI.
- Dengan nilai kuat tekuk yang tidak memenuhi rules BKI, konstruksi lambung Prototipe kapal SEP-Hull 8 meter yang dibangun pada tahun 2009 rawan terhadap benturan.
- Lemahnya konstruksi laminasi fiberglass umumnya disebabkan oleh komposisi bahan, susunan laminasi, dan proses pengerjaannya yang tidak mengacu pada persyaratan kelas.
- Untuk pembangunan kapal skala komersil di masa mendatang, disain konstruksi prototipe kapal SEP-Hull 8 meter perlu disempurnakan, meliputi perhitungan disain konstruksi dan susunan/struktur laminasi lambung kapal, sesuai *rules* BKI.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan salah satu kegiatan riset penulis tentang modernisasi dan standarisasi teknologi pembangunan kapal SEP-Hull berbahan fiberglass, melalui program Riset Insentif Terapan (RIT) Tahun 2010, yang didanai oleh Kementerian Pendidikan Nasional. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Nasional, Kementerian Riset dan Teknologi, dan BPPT Enjiniring yang telah memfasilitasi pelaksanaan riset ini. Terima kasih kepada Direksi PT BKI (Persero) atas dukungan tenaga ahli dan laboratorium, dan juga para pimpinan galangan kapal yang menjadi lokasi survei, tim peneliti dan pihak-pihak terkait lainnya, sehingga riset ini berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- BKI (2009), Rules for the Classification and Construction of Seagoing Ships Vol II, Biro Klasifikasi Indonesia, Jakarta
-(2006), Fibreglass 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
- Data-data internal beberapa perusahaan galangan kapal fiberglass di dalam negeri

- ISO 14125: 1998, International Standard, Fibre-reinforced Plastic Composites Determination of Flexural Properties
- ISO 527-4: 1997, International Standard, Plastics-Determination of Tensile Properties
- Ma'ruf, B. (2010a), Modernisasi dan Standarisasi Teknologi Pembangunan Kapal Berbahan Fiberglass, Laporan Penelitian, BPPT, Jakarta
- ..., Jamaluddin, A. (2010b), Teknologi Pembangunan Skala Komersil Kapal Sep-Hull Berbahan Fiberglass, Majalah Pengkajian Industri, Vol. 4 No.2, Agustus, hal 113-22, 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