

KAJIAN KOMPARASI UKURAN UTAMA KAPAL PENUMPANG CATAMARAN ANTARA BAHAN FRP DAN ALUMINIUM

Soegeng Hardjono *)

Peneliti Pusat Teknologi Industri dan Sistem Transportasi, BPPT
Puspitek Serpong: Gedung Teknologi 2, Lt 3, Telepon: 02175875944
E-mail: soegenghardjono@yahoo.com

ABSTRACT

In general, design of Catamaran passenger boats have been mostly made of FRP or aluminum materials. The selection of FRP or Aluminum material has an influence on the value of the boats main dimensions, especially relating to the draft, speed, power, passenger capacity and displacement. Having analyzed the main dimensions of both FRP and aluminum boats for the same passenger capacity by using parametric ratio and regression analysis, It has been found that the majority of boat main dimension values of FRP Catamaran is larger, among others, are 49 % for the length (L), 0.34% for the breadth (B), 47% for the high (D), 62% for the speed (V), and 74% for the engine power (HP). However, the other dimensions of FRP Catamaran namely the draft (T) and the displacement are 0.86% and 34% smaller respectively. For the same value of length for both types of boats, the result of statistical analysis stated that most of the major dimension of Aluminium Catamaran boats appears to be larger, among others, are about 48% for the breadth (B), 1% for the high (D), 50% for the draft (T), 130% for the Displacement (weight of the ship), 20% for HP (engine power) and 48% for passenger capacity. However, speed (V) and engine power (HP) of FRP Catamaran boats are 33% and 20% higher respectively.

Key Words: Comparison, main dimensions, passenger Catamaran, FRP, Aluminum

PENDAHULUAN

Kapal penumpang tipe *Catamaran* ini mengalami perkembangan yang pesat baik di Indonesia maupun di dunia, hal ini dikarenakan kapal *Catamaran* mempunyai berbagai kelebihan dibandingkan kapal tipe *mono-hull* diantaranya mempunyai kapasitas angkut penumpang yang lebih besar, stabilitas yang lebih baik, *draft* (sarat kapal) yang lebih rendah dan konsumsi bahan bakar yang lebih *efficient*.

Secara umum kapal penumpang *Catamaran* terbuat dari bahan konstruksi *Fiber Reinforced Plastic* (FRP) maupun aluminium. Pemakaian kedua jenis bahan tersebut

dikarenakan kapal *Catamaran* penumpang umumnya beroperasi di daerah perairan air tenang (*calm water*), seperti misal daerah pesisir pantai, daerah sungai maupun danau. Kedua bahan tersebut mempunyai sifat mekanik (*mechanical properties*) yang berbeda khususnya berat jenis (*density*) dimana *density* bahan FRP 99 Lb/ft sedangkan bahan aluminium 166 Lb/ft. Perbedaan tersebut berdampak terhadap perbedaan dimensi utama kapal khususnya *draft* untuk kapasitas angkut penumpang yang sama. Kapal penumpang *Catamaran* aluminium bernilai lebih

besar dibanding *draft* kapal penumpang *Catamaran* berbahan FRP. Sebaliknya untuk *dimensi draft* yang sama akan berdampak terhadap kapasitas angkut penumpang yang berbeda antara kapal berbahan FRP dan Aluminium. Sehingga dampak ini harus menjadi pertimbangan tersendiri bagi *Ship owner* dalam menentukan *owner's requirements* kapal yang akan direncanakan khususnya bila kapal yang direncanakan akan dioperasikan pada perairan yang dangkal baik di sungai maupun pesisir pantai. Faktor batasan ini dalam proses desain disebut sebagai *design constraint* dari sisi *ship owner*.

Dalam tahapan proses desain atau rancang bangun kapal terlebih dahulu diketahui faktor apa saja yang menjadi permintaan dari *ship owner* (*Ship owner's Requirements*) yang kemudian informasi ini dengan metode tertentu didefinisikan kedalam *design requirements*. Dengan kata lain *design requirements* harus memenuhi maksud dan tujuan permintaan calon pemilik kapal (*ship owner*).

Sehingga desainer harus mengatur batasan-batasan tersebut agar dapat menghasilkan konsep desain (*basic design*) yang sesuai.

Dengan demikian, pengaruh kedalaman perairan maupun kedalaman dermaga merupakan batasan fisik yang dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan bahan konstruksi dan lambung kapal apakah dari bahan FRP atau Aluminium. Seringkali batasan fisik diterapkan untuk tujuan dan alasan tertentu dalam proses pembentukan konsep desain. Beberapa contoh batasan tersebut diantaranya pemilihan tempat untuk membangun kapal pada galangan tertentu karena dikehendaki untuk peluncuran produk desain dengan cara tersendiri, kebutuhan

pemeliharaan kapal, dan kebutuhan untuk bersandar di dermaga tertentu. Faktor-faktor tersebut adalah beberapa contoh batasan fisik yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan konsep desain kapal yang baru. Sehingga konsep desain kapal merupakan *basic design* sebagai produk lanjutan dari penetapan *owner's requirements* untuk memenuhi persyaratan misi dan sejumlah batasan.

Untuk selanjutnya, desain tersebut dilanjutkan ke fase *preliminary design*, *contract design* dan berakhir hingga *detail design*. Sejauh mana perbedaan dimensi utama antara kapal penumpang *Catamaran* FRP dan Aluminium untuk kondisi kedua jenis kapal berkapasitas penumpang atau kedua jenis kapal mempunyai *draft* sama, maka perlu dilakukan analisa dengan pengambilan asumsi bahwa kedua jenis kapal berkapasitas penumpang sama dan/atau kedua jenis kapal mempunyai dimensi panjang (L) sama.

Dalam makalah ini akan dilakukan analisa untuk mendapatkan hasil berupa gambaran secara kuantitatif perbedaan dimensi utama kapal antara kapal FRP dan Aluminium dengan menggunakan metode analisa statistik dari data kapal-kapal yang telah beroperasi saat ini dan telah terbukti sebagai *proven design*. Informasi ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi *ship owner* maupun *designer*.

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pemilihan Bahan Material FRP dan Aluminium

Dipilihnya bahan lambung untuk kapal tertentu bukanlah tugas sederhana. Masing-masing bahan bisa terbaik untuk beberapa aplikasi, namun tidak ada bahan

yang terbaik untuk semua tujuan. Sebuah prosedur yang benar-benar objektif untuk memilih bahan lambung harus melibatkan studi kelayakan yang lengkap yang mempertimbangkan biaya dan berat masing-masing bahan untuk aplikasi tertentu. Namun makalah ini hanya membatasi pada masalah *technical analysis* saja. Yang terpenting adalah mempertimbangkan sifat kelebihan (*Advantages*) dan kekurangan (*Disadvantages*) dari setiap bahan yang terbaik untuk tujuan tertentu. Benjamin Whang dalam risetnya yang berjudul *Comparison Study of Aluminium, Ferro-cement, and Fiber Reinforced Plastic for Small Craft in Korea* menyatakan bahwa beberapa kelebihan dan kelemahan dari masing-masing bahan material sebagaimana yang dapat diuraikan di bawah ini:

1. Kelebihan bahan FRP

FRP memiliki beberapa kelebihan dibandingkan bahan lainnya sebagai bahan konstruksi kapal antara lain:

- a. Sifat resistensi terhadap lingkungan laut. FRP tidak menimbulkan korosi, membusuk, atau rusak bila terkena garam, udara, atau air dalam waktu lama. Bahan FRP juga tidak terpengaruh oleh bahan bakar atau polutan yang sering ditemukan di sungai dan pelabuhan. Namun, FRP akan membusuk teritip oleh binatang laut seperti halnya pada bahan kayu dan logam sehingga memerlukan cat dasar antifouling di perairan asin atau payau.
- b. Berat struktur FRP ringan artinya dengan desain dan kontrol yang tepat struktur FRP dapat mempunyai berat sekitar satu-setengah dari berat struktur dari bahan se-

men dan setara dengan berat struktur dari bahan Aluminium.

- c. Kekuatan FRP relatif cukup tinggi terhadap beratnya- kekuatan yang melekat pada FRP relatif cukup tinggi terhadap beratnya dan keberadaannya yang lama di air garam hanya berpengaruh kecil terhadap sifat-sifatnya.
- d. Konstruksi lambung dari FRP *smooth* dimana lambung dari bahan FRP umumnya sebagai bentuk cetakan satu lembar (*one-piece*) tanpa sambungan maupun lipatan sehingga dengan demikian menjadikan lambung FRP tahan bocor.
- e. Tahan terhadap larutan kimia dimana bahan FRP tidak bereaksi dengan air asin atau sebagaian besar bahan kimia dan tidak rentan terhadap elektrolisis.
- f. Kemampuannya untuk memperoleh tegangan maksimum yang tinggi dengan mengatur arah serat untuk berorientasi pada arah tegangan maksimum, sehingga memberikan desainer kemampuan untuk mengoptimalkan kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan logam.
- g. Kemampuannya untuk diproses ke bentuk yang kompleks dimana bahan FRP dapat dicetak menjadi berbagai bentuk yang kompleks, relatif mudah dan ekonomis.
- h. Memiliki fleksibilitas dimana modulus elastisitas FRP rendah sehingga bermanfaat dalam *absorbing energi* dari beban *impact* atau benturan dengan air. Namun fleksibilitas ini juga bisa menjadi batasan dalam desain.

i. Kemudahan dalam pemeliharaan-nya dimana bahan struktur FRP relatif mudah untuk diperbaiki. Sifat *noncorrosive* bahan FRP umumnya menghasilkan biaya pemeliharaan lambung yang lebih rendah

j. Ketahanan berdasarkan hasil survey yang dilakukan *US Navy* dan *US Coast Guard* pada *small craft* menunjukkan bahwa tidak ada penurunan atau degradasi sifat laminasi setelah beroperasi selama 15 tahun.

2. Kelemahan bahan FRP

FRP juga memiliki beberapa kelemahan yang harus menjadikan perhatian didalam perancangan kapal diantaranya adalah :

a. Modulus elastisitas FRP rendah artinya FRP dengan laminasi konvensional biasanya kurang dari 2×10^6 psi bila dibandingkan dengan bahan aluminium yang mempunyai nilai sampai 10×10^6 psi. Penggunaan FRP laminasi searah dapat meningkatkan persentase modulus lebih besar, tapi masih pada posisi yang kurang menguntungkan untuk *defleksi-critical*.

b. Kekuatan terbatas artinya walaupun kekuatan untuk jangka pendek bahan FRP cukup memuaskan, namun faktor *fatigue* (kelelahan) umumnya rendah; aspek ini harus diperhatikan ketika merancang beban dan faktor keselamatan. Selain itu, ketangguhan terhadap beban takik pada struktur FRP harus dievaluasi untuk menentukan masalah yang

terkait dengan stres yang terkonsentrasi, misalnya, di sudut-sudut lubang palkah, ujung *stiffeners* atau *deck*, dan struktur yang diskontinu lainnya. Kekuatan FRP terhadap beban *buckling* (lengkung) rendah sehingga perlu adanya pertimbangan dalam mengevaluasi konsep-konsep struktur dasar.

c. *Creep* dimana FRP memiliki kecenderungan untuk meregang jika ada beban yang tinggi untuk jangka waktu yang lama pada laminasi.

d. Rentan getaran dimana modulus elastisitas bahan FRP rendah sehingga dapat menyebabkan masalah dengan getaran pada struktur, terutama akibat dari getaran yang berasal dari mesin *reciprocating* dan baling-baling.

e. Rentan terhadap abrasi dimana bahan FRP mempunyai ketahanan yang rendah terhadap beban abrasi dan lebih rendah dari logam. Oleh karena itu diperlukan penggunaan bumper pada daerah-daerah dimana beban abrasif mungkin terjadi.

f. Kerentanan terhadap api dimana FRP dengan lapisan konvensional terbuat dari jenis resin yang mudah terbakar dimana intensitas kebakarannya sama dengan material kayu lapis. Laminasi cepat kehilangan kekuatan pada suhu tinggi. Namun bila menggunakan resin tahan api maka resin tersebut juga menghasilkan asap beracun di hadapan api.

Kombinasi *Glass dan Polyester (GWR* atau *PWR)* akan menghasilkan suatu

bahan laminasi yang mempunyai sifat lebih unggul bila dibandingkan dengan sifat asal setiap bahan dengan memperhatikan urutan laminasi seperti misal dirancang untuk memiliki kekuatan lentur dan kapasitas beban loading yang lebih tinggi, atau mempunyai ketahanan yang lebih tinggi terhadap beban impact. Sebagai contoh dari kombinasi laminasi adalah laminasi FRP pada G (MP) MG dimana posisi laminasi GWR berada pada lapisan tengah diantara kedua lapisan luar yaitu lapisan MAT (*Glass chopped strand mat*) dan PWR (*Polyester Fiber Woven Roving*).

3. Kelebihan bahan Aluminium

Penggunaan bahan aluminium secara populer mempunyai 3 (tiga) alasan diantaranya :

- a. Ringan dimana nilai berat bahan aluminium berada disekitar sepertiga berat baja dan memberikan nilai rasio yang tinggi yaitu rasio kekuatan mesin penggerak (*horse-power*) terhadap berat kapal sehingga bermanfaat untuk merencanakan kecepatan kapal yang tinggi atau pengurangan kebutuhan kekuatan mesin.
- b. Ketahanan terhadap korosi dimana lambung kapal berbahan aluminium memiliki lapisan *film* oksida sehingga tidak perlu pengecatan. Pengecatan hanya diperuntukkan untuk tujuan estetika atau perlindungan *antifouling*.)
- c. Tahan terhadap beban *impact* dimana bahan Aluminium memiliki kekuatan tarik tinggi dan modulus elastisitas rendah (sekitar

sepertiga dari baja). Aluminium juga memberikan nilai defleksi yang besar sehingga memungkinkan lambung mampu menyerap energi dari benturan tinggi. Selain itu, aluminium juga mempunyai sifat daktilitas sehingga sangat tahan terhadap beban tusukan.

- d. Tahan korosi dimana aluminium mempunyai sifat tahan terhadap korosi di air laut. Walaupun demikian untuk penggunaan dilaut (*marine use*) yang terbaik adalah direkomendasikan menggunakan bahan aluminium dari seri 5000. yang sering digunakan untuk *marine use* saat ini adalah seri 5086, 5456 dan 5083.

4. Kelemahan bahan aluminium.

Kelemahan bahan aluminium bukan berdasarkan sifat mekanis namun lebih kepada masalah ketersediaan dan biaya (*availability and cost*). Di Indonesia bahan aluminium untuk bidang perkapalan (*marine use*) belum tersedia sehingga harus didatangkan melalui import dari negara lain misal dari negara Jepang atau Amerika. Oleh karenanya masalah ketersediaan dan biaya (*availability and cost*) harus menjadi pertimbangan dalam pemilihan bahan jenis ini. Nilai biaya untuk bahan aluminium sendiri relatif lebih tinggi dibandingkan dengan bahan material lainnya seperti FRP maupun baja. Hal ini dapat dilihat pada tabel 1 tentang *Thickness* dan *Cost* dari bahan

Tabel 1. Perbandingan *thickness* dan *costs* untuk kekuatan yang sama

Material	Cost/Unit Weight	Equal Tensile Strength		Equal Bending Stiffness	
		Thickness	Cost	Thickness	Cost
Steel	1	1	1	1	1
Aluminium	6.3	1.8	1.3	6.6	3.2
FRP	5.4	3.0	3.0	3.0	3.0

Sumber : Lloyd's Register of Shipping , UK.

baja, FRP dan aluminium.

Sifat-sifat mekanis (*mechanical properties*) dari bahan material aluminium dan FRP sebagai bahan pertimbangan bagi

menentukan persyaratan misi. Ini biasanya ditentukan oleh pemilik kapal yang mendasarkan pada ekspektasi dan skenario pasar saat ini dan masa yang akan datang yang diwujudkan dalam

Tabel 2. Sifat-sifat mekanis material aluminium (AL) dan FRP

Property	AL	FRP	
	5088	GWR	G(MP)MG
Density ρ , lb/ft ³	166	133	99
Flexural Modulus E, ksi x 10 ³	10.4	2.2	1.4
Flexural Strength, σ ksi	40	40	28
Flex. Mod/density E/ ρ	0.0626	0.0165	0.0156
Nondimensional E/ ρ	100	26	25
Flex. Str./Density σ/ρ	0.241	0.300	0.283
Nondimensional σ/ρ	80	99	94
Strength-Stiff/Density ($\sigma + E$)/ ρ	180	125	119
Nondimensional ($\sigma + E$)/ ρ	100	70	69

Sumber : Naval Ship Research and Development Center, Maryland.

ship owner maupun desainer dapat ditampilkan seperti dalam tabel 2.

Tabel 2 di atas merupakan rangkuman sifat mekanik aluminium (AL) dan Fiber Reinforced Plastik (FRP). Dalam perbandingan ini, paduan 5086 dipilih untuk mewakili aluminium dan GWR (Glass Fiber Woven Roving) dan G (MP) MG dipilih mewakili FRP. G(MP) MG adalah jenis laminasi kombinasi dimana GWR berada diantara lapisan MAT atau M (Glass chopped strand mat) dan PWR (Polyester Fiber Woven Roving).

B. Metode Dalam Mendisain Kapal

Proses mendesain kapal dimulai dengan

bentuk parameter dan fitur kapal. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Andrews, D. J. dalam judul "A Comprehensive Methodology for the Design of Ships (And Other Complex Systems)", *Proceedings of the Royal Society*, London, 1998 pada dasarnya proses desain dapat dikelompokkan dalam 4 (empat) fase antara lain adalah :

1. Fase konsep desain : tujuannya adalah memperoleh kelayakan proyek
2. Fase kontrak desain : tujuannya adalah memperoleh gambaran biaya proyek
3. Fase desain awal : tujuannya adalah untuk memperoleh desain kapal

4. Fase detail desain: tujuannya adalah untuk pembangunan kapal.

Setelah melakukan *planning*, kemudian *contract design* maka kita perlu menentukan metode perancangan kapal. Secara umum ada beberapa metode dalam perancangan kapal di antaranya adalah sebagai berikut :

1. *Parent Design Approach*

Parent design approach merupakan salah satu metode mendesain kapal dengan cara perbandingan atau komparasi, yaitu dengan cara mengambil sebuah kapal acuan sebagai kapal pembanding yang memiliki karakteristik yang sama dengan kapal yang akan dirancang. Dalam hal ini *designer* sudah mempunyai referensi kapal yang sama dengan kapal yang akan dirancang, dan telah terbukti mempunyai *performance* yang bagus (secara teknologi dan operasional bagus)

2. *Trend Curve Approach*

Trend Curve approach biasanya disebut dengan metode statistik yaitu dengan memakai regresi dari beberapa kapal pembanding untuk menentukan main dimension. Dalam metode ini ukuran beberapa kapal pembanding di komparasi dimana variabel dihubungkan kemudian ditarik suatu rumusan yang berlaku terhadap kapal yang akan dirancang.

3. *Iteratif Design Approach*

Iteratif design approach adalah sebuah metode desain kapal yang berdasarkan pada proses siklus dari *prototyping*, *testing*, *analyzing*, dan menyempurnakan produk atau proses. Perubahan dan perbaikan akan dilakukan berdasar-

kan hasil pengujian iterasi terbaru sebuah desain. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan fungsionalitas dari sebuah desain yang sudah ada. Proses desain kapal memiliki sifat iteratif yang paling umum digambarkan oleh spiral desain yang mencerminkan desain metodologi dan strategi. Biasanya metode ini digunakan oleh orang-orang tertentu saja (sudah berpengalaman dengan menggunakan *knowledge*).

4. *Parametric Design Approach*

Parametric design approach adalah metode yang digunakan untuk mendesain kapal dengan menggunakan parameter, misalnya: L (Panjang kapal), B (Lebar kapal), T (draft kapal), D (Tinggi kapal), C_b (Koefisien Block) LCB (*Center of Buoyancy*), dll. sebagai main dimension yang merupakan hasil regresi dari beberapa kapal pembanding, kemudian dihitung R_t (*Total Resistance*/ Tahanan total badan kapal), merancang baling-baling, perhitungan perkiraan daya motor induk, perhitungan jumlah ABK, perhitungan titik berat, trim dll. secara detail.

5. *Optimization Design Approach*

Metode optimasi digunakan untuk menentukan ukuran utama kapal yang optimum serta kebutuhan daya motor penggeraknya pada tahap *basic design*. Dalam hal ini, disain yang optimum dicari dengan menemukan disain yang akan meminimalkan *economic cost of transport* (ECT). Untuk tujuan analisis pada tahap *basic design* atau untuk tujuan studi kelayakan, metode ini terbukti mampu digunakan sebelum memasuki tahapan disain selanjutnya. Hal ini menunjukkan bahwa program optimasi yang

dikembangkan disini mampu secara efektif dan konsisten memberi pendekatan terhadap hasil disain kapal-kapal yang sudah ada. Lebih jauh lagi, terlihat bahwa kesulitan dalam pemanfaatan metode optimasi sebagai *tool* untuk memecahkan masalah-masalah optimasi tidak termanifestasi pada bagaimana kita membuat struktur model optimasi itu sendiri. Akan tetapi, kesulitannya lebih pada bagaimana kita mengekspresikan setiap masalah optimasi yang ada didalamnya kedalam persamaan matematis yang dapat dieksekusi oleh optimasi Ukuran utama kapal dan kebutuhan daya motor penggerak. Proses optimasi seperti ini dapat juga dimanfaatkan untuk melakukan seleksi terhadap mesin penggerak utama kapal dari beberapa alternatif yang ada.

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan *diskriptif kuantitatif* secara garis besar meliputi metodologi pengumpulan data, metodologi instrumentasi pengolahan dan analisa data. Metode pengumpulan data yang digunakan adalah melalui tinjauan pustaka, tinjauan studi dalam bidang penelitian yang sama serta dari berbagai sumber informasi yang lain. Sedangkan data yang digunakan adalah data dan informasi tentang karakteristik teknis dari kapal-kapal angkutan penumpang yang dibagi dalam 2 (dua) kelompok antara lain kelompok kapal *Catamaran* berbahan aluminium dan kelompok kapal *Catamaran* berbahan *Fiber Reinforced Plastic* (FRP) yang telah dibangun dan dioperasikan diberbagai perairan di dunia. Sedangkan instrumentasi yang digunakan dalam proses pengolahan dan analisa data

adalah dengan menggunakan teori statistik melalui metode *p-Chart* yang dilengkapi dengan kedua batas *Upper* dan *Lower Control Limitnya* (UL dan LL) melalui bantuan *software excel* dengan formula sebagai berikut :

$$UL = X + A2 R \text{ dan } LL = X - A2 R$$

dimana :

X = nilai rata-rata sampel

$A2$ = faktor dari sampel

$A2 = 3 \sigma / \sqrt{n}$ (σ = standar deviasi & n = jumlah sampel)

R = *range* dari sampel

Analisis data ini pada prinsipnya menggunakan metode analisis deskriptif - kuantitatif. Sedangkan metode untuk menentukan ukuran utama kapal yang direncanakan baik berbahan aluminium maupun FRP adalah menggunakan metode *Trend Curve Approach* dengan menggunakan regresi analisis yang ditarik dari *control chart* (*X-R Char*) dari beberapa kapal pembanding untuk menentukan ukuran utama (*main dimension*). *Trend* yang berupa *curve* dari regresi analisis tersebut kemudian ditarik rumusan yang berlaku terhadap kapal yang akan direncanakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini berupa komparasi ukuran utama kapal antara kapal *Catamaran* penumpang Aluminium dan FRP diperoleh dengan melakukan analisa parameter rasio, regresi linear dan analisa ukuran utama kapal *Catamaran* Aluminium dan FRP.

A. Parameter Rasio dan Regresi Linear Kapal Penumpang *Catamaran* FRP

Untuk memperoleh nilai parameter rasio maka terlebih dahulu dilakukan pengum-

Tabel 3: Data kapal penumpang *Catamaran* bahan konstruksi FRP

No	Nama kapal	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	V (knots)	BHP (hp)	Displ (T)	Pass (org)	Bahan
1	Austhai 1100 cat	10	3.31	1.8	0.85	35	630	6000	32	FRP
2	Austhai 1100 ferry cat	10	3.31	1.8	0.85	35	700	7900	20	FRP
3	Austhai 8000 taxi	6.99	3	1.8	0.85		400	3550	12	FRP
4	Austhai 1300 ferry cat	11.59	4.5	1.8	0.85	25	1410	16500	56	FRP
5	MEC	18.8	4.48	2.05	0.75	25	850	21800	49	FRP
6	E-12 water taxi	12	4	1	0.5	25	180	5300	14	FRP
7	LMEC	18.8	4.1	1.55	0.66	23	1200	22550	60	FRP
8	Barracuda	15.24	6.1	1.71	0.81	16	660	8654	36	FRP
9	SanavDefa	9.2	2.89	1.67	0.79	30	400	5300	12	FRP
10	Bricktown	16	6	1.2	0.57	22	1000	7800	82	FRP

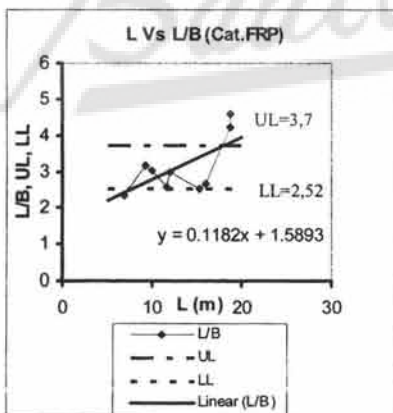
Sumber : *Catamarans International News* (2008), www.Catamaransinternational.com

pulan data dari beberapa kapal tipe *Catamaran* dengan bahan material konstruksi dari FRP (tabel 3).

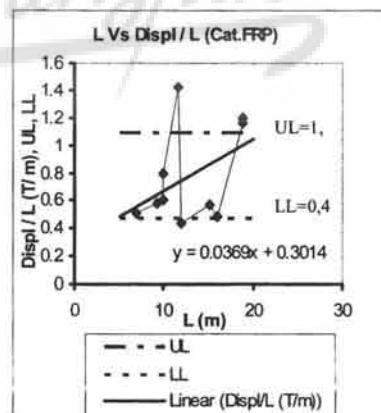
Berdasarkan analisa parameter rasio melalui metode *p-Chart* dengan *upper* dan *lower limitnya* (UL dan LL) telah dihasilkan beberapa *parameter ratio* kapal penumpang *Catamaran* FRP antara lain : L/B ; D/T ; L/D ; B/T ; $Displ/L$; $Displ/Org$; V/L ; $HP/(L.B.T)^{2/3} \cdot V^3 \cdot 10^{-3}$, yang diperoleh dari beberapa grafik L Vs L/B (*Length of ship versus Length to Breadth ratio*); L Vs D/T ; L Vs L/D ; L Vs B/T ; L Vs $Displ/Org$; L Vs V/L , dan L Vs $HP/(L.B.T)^{2/3} \cdot V^3 \cdot 10^{-3}$.

Di bawah ini ditampilkan contoh 2 (dua) dari 8 (delapan) gambar grafik *parameter ratio* kapal penumpang *Catamaran* FRP yaitu : Grafik 1: L versus L/B dan Grafik 2: L versus $Displ/L$.

Nilai *parameter ratio* dan rumus *Regresi Linearnya* untuk kapal *Catamaran* FRP dapat ditabulasikan seperti yang tercantum dalam tabel 4.



Grafik 1. L Vs



Grafik 2. L Vs

Tabel 4: Parameter ratio dan regresi kapal catamaran FRP

Parameter Rasio	Nilai ange	Nilai Rata-2	Regresi Linear
L/B	2.52 – 3.70	3.70	$L/B=0.1182.L + 1.5893$
D/T	1.96 – 2.42	2.19	$D/T=0.0332.L + 1.7616$
L/D	5.25 – 11.24	8.24	$L/D=0.63.L + 0.1458$
B/T	3.63 – 8.07	5.85	$B/T=0.3488.L + 1.3632$
V/?L	5.15 – 10.95	8.05	$V/?L=-0.656.L + 16.488$
Displ/L	0.47 – 1.09	0.78	$Displ/L=0.0369.L + 0.3014$
Displ/Org	0.21 – 0.42	0.315	$Displ/Org=0.0001.L + 0.3137$
HP/ (L.B.T) ^{2/3} .V ³ .10 ⁻³	1.71 – 6.57	4.14	$HP/ (L.B.T)^{2/3}.V^3.10^{-3}=47.896.L + 126.96$

B. Parameter Rasio dan Regresi Linear Kapal Penumpang Catamaran Aluminium

Untuk memperoleh nilai parameter rasio maka terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data dari beberapa kapal tipe Catamaran dengan bahan material konstruksi dari aluminium (tabel 5).

3.V³.10⁻³. Di bawah ini ditampilkan contoh 2 (dua) dari 8 (delapan) gambar grafik parameter ratio kapal penumpang Catamaran aluminium (AL) yaitu : grafik 3: L versus V/"L dan grafik 4: L versus Displ/Pass.

Besar nilai parameter ratio dan regresi linearnya untuk kapal Catamaran alu-

Tabel 5. Data kapal penumpang catamaran bahan konstruksi aluminium (AL)

No	Nama kapal	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	V (knots)	BHP (hp)	Displ (T)	Pass (org)	Bahan
1	Puredive	14.75	5.36	1.75	1.25	28	1160	25000	36	AL
2	Bue Tobol	17.25	6.24	2.05	0.9	28	1360	30000	50	AL
3	Bue Tekes	12.07	5.46	1.75	0.5	25	920	30000	25	AL
4	Saratoga	11.97	5.41	1.86	1.1	14	300	18000	65	AL
5	CatBalou	15.79	6.36	2.03	1.2	17	600	29500	73	AL
6	WhaleWatch	16.6	6.5	2.28	1.35	22	460	35000	80	AL
7	Fantasea	12.8	6.2	2.37	1.4	22	660	40000	140	AL
8	SeaQuest	21.65	7.5	1.75	1.8	27	740	60000	72	AL
9	Quick Cat	16.6	6.5	2.28	1.35	22	620	35000	80	AL
10	Thames River	13.85	5.3	1.77	1.05	20	400	6300	74	AL
11	Thames Taxi	9	3.7	0.67	0.4	25.5	200	5000	13	AL
12	Victoria	14.3	6	2.25	1.33	25	860	10790	95	AL

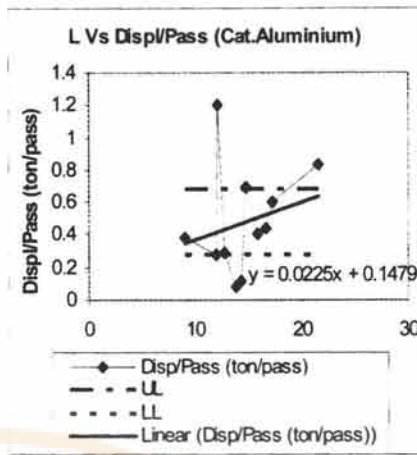
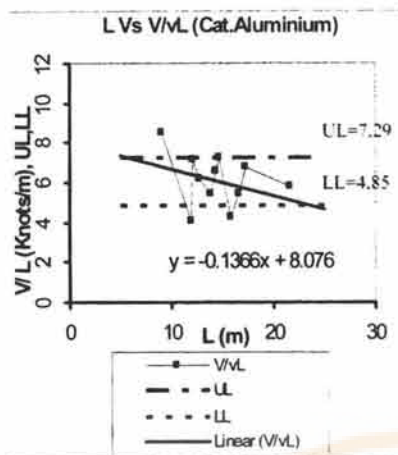
Sumber : Catamarans International News (2008), www.Catamaransinternational.com

Berdasarkan analisa parameter rasio melalui metode *p-Chart* dengan *upper* dan *lower limitnya* (UL dan LL) telah dihasilkan beberapa parameter ratio kapal penumpang Catamaran aluminium antara lain :L/B; D/T; L/D; B/T; Displ/L; Displ/Org; V/"L; HP/ (L.B.T)^{2/3}.V³.10⁻³. yang diperoleh dari beberapa grafik L Vs L/B (*Length of ship versus Length to Breadth ratio*); L Vs D/T; L Vs L/D; L Vs B/T; L Vs Displ/Org; L Vs V/"L, dan L Vs HP/(L.B.T)^{2/3}.

minium dapat ditabulasikan seperti yang tercantum dalam tabel 6.

C. Analisis Ukuran Utama Kapal Catamaran Penumpang FRP dan Aluminium

Berdasarkan hasil penemuan nilai parameter rasio dan rumus regresi linear dari kedua jenis kapal Catamaran baik berbahan FRP maupun aluminium maka dapat diturunkan nilai ukuran utama



Grafik 3. L Vs V/?L

Grafik 4. L Vs

Tabel 6: Parameter ratio dan regresi linear kapal catamaran aluminium

Parameter Rasio	Nilai Range	Nilai Rata-2	Regresi Linear
L/B	2.27 - 2.72	2.495	$L/B = 0.056.L + 1.6805$
D/T	1.11 - 2.5	1.805	$D/T = 0.0717.L + 2.8598$
L/D	5.96 - 10.36	8.16	$L/D = 0.0906.L + 6.8252$
B/T	3.93 - 7.63	5.78	$B/T = -0.3473.L + 10.894$
V/?L	4.85 - 7.29	6.07	$V/?L = -0.1366.L + 8.076$
Displ/L	1.03 - 2.5	1.765	$Displ/L = 0.1134.L + 0.0954$
Displ/Org	0.275 - 0.684	0.479	$Displ/Org = 0.0225.L + 0.1479$
HP/ $(L.B.T)^{2/3}.V^3.10^{-3}$	1.57 - 4.59	3.08	$HP/ (L.B.T)^{2/3}.V^3.10^{-3} = 42.768.L + 60.484$

kapal antara lain Panjang kapal (L), Lebar kapal (B), Tinggi kapal (D), Sarat air kapal (T), Kecepatan kapal (V). Berat kapal (Displ), Jumlah penumpang (*pass*), dan besar Tenaga mesin kapal (HP). Penentuan nilai ukuran utama tersebut dilakukan dengan cara memasukkan salah satu ukuran utama sebagai input data yang nilainya diasumsikan dengan suatu nilai tertentu (dikehendaki). Dalam analisis ini digunakan 2 asumsi sebagai input data antara lain asumsi pertama menggunakan variabel dimensi panjang kapal (L) yang sama dan asumsi kedua menggunakan dimensi kapasitas angkut penumpang yang sama pada kapal penumpang *Catamaran* FRP dan aluminium. Dengan memasukkan data input ukuran panjang kapal L kedalam parameter rasio atau

rumus *regresi linear* masing-masing jenis kapal (FRP dan aluminium) akan diperoleh nilai ukuran utama yang lain pada kedua jenis kapal tersebut. Dalam hal ini, diambil asumsi bahwa dimensi/ ukuran utama kapal (L) sebagai input adalah 6 (enam) variasi panjang kapal dalam range 10 sampai 20 m dengan interval 2 m. Sehingga L yang digunakan sebagai input adalah 10 m, 12m, 14m, 16m, 18m, dan 20m. Asumsi yang kedua menggunakan dimensi kapasitas angkut penumpang sebagai input data yang dalam hal ini diambil kapasitas angkut penumpang besarnya 25 orang untuk kedua jenis kapal tersebut.

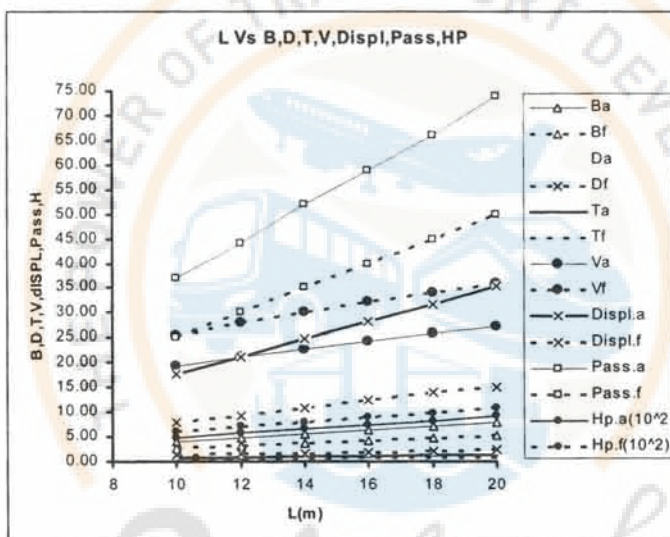
Berdasarkan input data asumsi pertama yaitu panjang kedua jenis kapal (L) sama maka dapat dihasilkan bentuk komparasi

ukuran utama masing-masing kapal (B, D, T, V, HP, Displ serta kapasitas angkut penumpang) seperti tertera dalam tabel 7.

D. Pembahasan Hasil Komparasi Ukuran Utama Kapal Catamaran FRP dan Aluminium (tabel 7 dan tabel 8)

Tabel 7. Hasil komparasi ukuran utama kapal catamaran FRP/aluminium (untuk panjang kapal sama)

No	L (m)	Breadth B(m)	Depth D(m)	Draft T(m)	Speed V(Knts)	Displ. (Ton)	No.Pass (Prsn)	Power (HP)
1	10	2.70/4.01	1.21/1.23	0.46/0.69	25.4/19.2	7.80/17.6	25/37	600 /488
2	12	3.24/4.81	1.46/1.47	0.55/0.83	27.8/21.0	9.70/21.1	30/44	700 /574
3	14	3.78/5.61	1.70/1.72	0.65/0.97	30.1/22.7	10.9/24.7	35/52	797/660
4	16	4.32/6.41	1.94/1.96	0.74/1.11	32.2/24.3	12.4/28.2	40/59	893/745
5	18	4.86/7.21	2.18/2.21	0.83/1.25	34.1/25.8	14.0/31.7	45/66	990/830
6	20	5.41/8.02	2.43/2.45	0.92/1.39	36.0/27.1	15.6/35.3	50/74	1084/915



Grafik 5. Komparasi ukuran utama kapal catamaran aluminium dan FRP

Bila hasil komparasi dalam tabel 9 dikonversikan kedalam bentuk grafik maka hasil plotting data melalui *software excel* dapat tergambar seperti ditampilkan dalam grafik 5 yaitu grafik komparasi ukuran utama kapal sehingga komparasi lebih mudah untuk dilihat dan dipahami. Dengan notasi a adalah aluminium dan f adalah FRP. Sehingga Ba dan Bf (sebagai contoh) dimaksudkan adalah sebagai lebar kapal aluminium dan lebar kapal FRP, dan begitu pula seterusnya dengan ukuran utama kapal yang lain.

Dengan menggunakan data input ukuran utama sebagai asumsi kedua yaitu menggunakan data kapasitas penumpang yang sama untuk kedua jenis kapal. Bila kapasitas angkut penumpang yang dikehendaki dalam analisa ini adalah 25 orang, maka melalui perhitungan dengan parameter rasio atau rumus regresi linear dapat dihasilkan komparasi ukuran utama kedua kapal seperti yang di tabulasikan dan ditampilkan pada tabel 8.

Tabel 8. Komparasi ukuran utama kapal *catamaran* FRP/aluminium
(untuk kapasitas penumpang sama)

Kapal	L (m)	Breadth B(m)	Depth D(m)	Draft T(m)	Speed V(Knts)	Displ. (Ton)	No.Pass (Prsn)	Power (HP)
FRP	10.10	2.73	1.23	0.46	25.60	7.87	25	610
Aluminium	6.78	2.72	0.83	0.47	15.80	11.97	25	350

1. Untuk asumsi ukuran panjang kedua kapal baik *Catamaran* FRP maupun aluminium dibuat sama maka nampak dari tabel 7 bahwa secara umum 7 (tujuh) dari 8 (delapan) dimensi kapal *Catamaran* aluminium mempunyai nilai lebih besar dibandingkan dimensi kapal *Catamaran* FRP. Dimensi atau ukuran tersebut adalah B (lebar), D (tinggi), T (sarat air), V (kecepatan), *Displacement* (berat kapal), HP (kekuatan mesin) dan Kapasitas penumpang. Hal ini disebabkan oleh *density* (berat jenis) aluminium lebih besar dibandingkan *density* FRP seperti yang tertera dalam Tabel 2. Walaupun ukuran panjang kedua kapal sama terbukti bahwa dengan *density* yang lebih besar, maka kapal akan mempunyai *Displacement* (berat total kapal) yang lebih besar. Konsekwensi ini disebabkan oleh penambahan berat konstruksi dari dimensi lebar kapal aluminium (B) yang selalu mutlak lebih besar (48.4%). Faktor tinggi (D) juga lebih besar 0.82 atau sekitar 1%, sarat (T) lebih besar 51.5% serta kapasitas passenger kapal lebih besar 47.56%. Sebagai konsekwensinya berat kapal total (*displacement*) lebih besar 128%. Walaupun demikian kecepatan (V) dan kekuatan mesin (*Power*) kapal FRP lebih besar yaitu 32.6% untuk V dan 20.22% untuk kekuatan mesin (*Power*). Hal ini disebabkan oleh bentuk *waterplan* kapal aluminium yang lebih langsing walaupun *draft*nya lebih dalam sehingga gaya tahanan air (*water resistance*) kapal aluminium lebih kecil.
2. Untuk asumsi kapasitas penumpang kedua jenis kapal baik *Catamaran* FRP maupun aluminium dibuat sama yaitu berkapasitas 25 orang. Hasil komparasi ukuran utama seperti yang terlihat pada Tabel 8 menunjukkan bahwa 5 (lima) dari 7 (tujuh) dimensi kapal *Catamaran* FRP nilai nya lebih besar dibandingkan nilai dimensi utama kapal *Catamaran* aluminium. Kelima dimensi tersebut adalah panjang (L), lebar (B), tinggi (D), kecepatan (V), dan kekuatan mesin (HP) kapal. Sedangkan 2 (dua) dimensi lainnya bernilai lebih kecil diantaranya adalah *draft* (T) dan berat kapal (*Displacement*). Besar prosentase kenaikan kelima dimensi itu adalah 48.8% untuk panjang (L), 0.34% untuk lebar (B), 47.4% untuk tinggi (D), 61.8% untuk kecepatan (V), dan 74.1% untuk kekuatan mesin (*Power*). Sedangkan prosentase penurunan dimensi adalah 0.86% untuk *draft* (T) dan 34.2% untuk berat kapal (*displacement*). Dapat dipastikan bahwa pengaruh bahan dari FRP yang mempunyai berat jenis lebih kecil dari aluminium berpengaruh terhadap penurunan T (*draft*) dan *displacement* (berat) kapal untuk kedua jenis kapal dengan kapasitas angkut sama.

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis komparasi terhadap karakteristik ukuran utama kapal *Catamaran* berbahan FRP dan Aluminium maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kedua jenis bahan material baik FRP maupun Aluminium mempunyai kelebihan masing-masing sesuai tujuan, fungsi, dan peruntukannya. Artinya bahan FRP bisa lebih tepat penggunaannya bagi kapal yang beroperasi di perairan sungai, danau atau pesisir pantai dimana kondisi gelombang perairannya sangat kondusif dan tenang atau alasan peruntukan lain yaitu kemudahan akses untuk perbaikan (sebagai misal) dimana secara geografis lokasi perbaikan (galangan kapal) umumnya berada tidak jauh dari daerah operasionalnya.
2. Berdasarkan sifat mekanik material, kapal Aluminium secara umum mempunyai ketahanan yang lebih besar terhadap beban antara lain beban impact di lambung kapal, beban bending di geladak dan beban takik di ujung-2 ruang palkah atau konstruksi yang diskontinu misalnya *stiffeners*. Oleh karenanya penggunaan dan perhatian pada material FRP untuk beban di daerah struktur tertentu harus mendapatkan perhatian khususnya terkait untuk perencanaan beban yang proposional.
3. Ketahanan kapal FRP berdasarkan hasil survey yang dilakukan *US Navy* dan *US Coast Guard* pada small craft pada beban yang proposional baik di geladak maupun lambung menun-

jukkan bahwa tidak ada penurunan atau degradasi sifat laminasi setelah beroperasi selama 15 tahun.

4. Untuk asumsi ukuran panjang kedua jenis kapal bernilai sama pada *Catamaran* FRP dan aluminium maka didapatkan sebagian besar dimensi yaitu 7 (tujuh) dari 8 (delapan) dimensi kapal *Catamaran* aluminium bernilai lebih besar. Besar selisih dimensi tersebut adalah 48.4% untuk lebar (B), 1% untuk tinggi (D), 51% untuk sarat air (T), 128% untuk berat kapal (*Displacement*), 20.23% untuk kekuatan mesin (HP) dan 47.5% untuk kapasitas penumpang. Walaupun demikian kecepatan (V) kapal FRP lebih besar 32.6% dan kekuatan mesin kapal (HP) lebih besar 20.23%.
5. Untuk asumsi kapasitas penumpang kedua jenis kapal bernilai sama, maka didapatkan sebagian besar dimensi kapal *Catamaran* FRP yaitu 5 (lima) dari 7 (tujuh) dimensinya bernilai lebih besar. Besar selisih dimensi tersebut adalah 48.8% untuk panjang (L), 0.34% untuk lebar (B), 47.4% untuk tinggi (D), 61.8% untuk kecepatan (V), dan 74.1% untuk kekuatan mesin (HP). Sedangkan penurunan nilai dimensi kapal *Catamaran* adalah 0.86% untuk draft (T) dan 34.2% untuk berat kapal (*displacement*). Sehingga terbukti bahwa berat jenis bahan FRP yang lebih kecil berpengaruh terhadap penurunan draft (T) dan berat (*displacement*) kapal *Catamaran* FRP bila kedua jenis kapal mempunyai kapasitas angkut sama.

B. Saran

1. Penggunaan bahan Aluminium untuk konstruksi kapal perlu pertimbangan

yang seksama, khususnya menyangkut biaya produksi. Hal ini disebabkan bahwa bahan aluminium untuk *marine use* masih diimport sehingga berdampak pada biaya produksi yang lebih tinggi.

2. Dikarenakan modulus elastisitas bahan FRP jauh lebih rendah bila dibandingkan modulus elastisitas aluminium, maka disarankan untuk menggunakan teknologi laminasi kombinasi dengan mengkombinasikan laminasi *Glass* dan *Polyester* (GWR atau PWR) untuk menghasilkan suatu bahan laminasi yang mempunyai sifat lebih unggul bila dibandingkan dengan sifat asal setiap bahan.
3. Khususnya untuk meningkatkan kualitas konstruksi dasar ruang mesin agar mempunyai kekuatan lentur dan ketahanan yang lebih tinggi terhadap beban *impact* yang disebabkan oleh getaran pada struktur akibat getaran yang berasal dari mesin jenis *reciprocating* (mesin torak) dan baling-baling. Sebagai contoh kombinasi laminasi pada G (MP) MG dimana posisi laminasi GWR berada pada lapisan tengah sedangkan 2 (dua) lapisan luarnya adalah lapisan MAT (*Glass chopped strand mat*) dan PWR (*Polyester Fiber Woven Roving*).

Benyamin Whang, 1992, "Comparison Study of Aluminum, Ferro-ement, and Fiber Reinforced Plastic for Small Craft" Naval Ship Research and Deveopment Center, Bethesda, Maryland.

Jan P.Michalski., 2007, "Statistical Data of Hull Main Parameter Useful for Preliminary Design of SWATH Ships", Gdansk Polish Naval University, Gdansk.

Parsons, M., G.2003, "Parametric Design, in Ship Design and Construction", Edited by Lamb,T., The Society of Naval Architecture and Marine Engineers, New Jersey.

Soegeng Hardjono, 2004, "Kajian Penentuan Rasio Parameter Kapal Penumpang Tipe Monohull," Warta Penelitian Perhubungan", No.03/ THN.XVI/ 2004, p.58-66.

Von Dokkum, 2008, "Ship knowledge: Ship Design Constructiom and Operation", 5th Dokmar Maritime Publisher, The Netherlands.

Watson,D.G.M.,1998, "Practical Ship Design," Elsevier Science Ltd, Oxford, UK.

*) Lahir di Surabaya, 12 Pebruari 1956, S1 Teknik Perkapalan ITS, dan S2 Ship Production Technology, Strathclyde University, UK, Peneliti di Direktorat Teknologi dan Sistem Transportasi-BPPT.

DAFTAR PUSTAKA

Andrews, D. J.1998, "A Comprehensive Methodology for the Design of Ships (And Other Complex Systems)", Proceedings of the Royal Society, London, Vol. 454, pp. 187-211.