

KAJIAN DESIGN REQUIREMENT KAPAL WATERWAYS PROVINSI DKI

Soengeng Hardjono*)

Peneliti Madya di PTIST-BPPT

ABSTRACT

Design requirement is standard requirement that should be met and carried out before introducing a kind of newly transportation mode. Such matter had ever been experienced recently by the Province Government of DKI as trying to introduce newly transportation mode so called waterways beside bus way as a part of macro transportation scheme (PTM). During initial operation trials, the vessels had faced many difficulties and obstacles because of her unsuitable design. In reality, the existing river vessels namely KM Kerapu III and KM Kerapu IV were previously used for sea transportation. They could not fulfill the condition of existing river environment because their design requirement had not been available and carried out yet. Draft of these vessels approximately 0.6 m had become obstacle to operate in the existing river having depth of about 1 meter or even less. After conducting an analysis on design requirement for required river transport, it is finally founded that the suitable river vessel would have a twin-hull vessel as known as catamaran which has a displacement hull type, made of FRP, with main dimensions of 9.95m length, 3.20m width, 1.20m depth, 25knots speed, 25 persons capacity, 145hp, and slenderness ratio $L/b=9$. However, dredging effort should be recommended to maintain river depth at least 1 m or even more and make sure that the proposed vessel may run smoothly during her operation and free from dependency from open-closed system of water gate in maintaining the water depth level.

Keywords : Waterways, West Flood Canal, Catamaran vessel, Principal dimensions, Province Government of DKI

PENDAHULUAN

Untuk mengatasi masalah kemacetan lalu lintas angkutan umum di daerah Provinsi DKI, pada pertengahan tahun 2007, tepatnya tanggal 6 Juni 2007 telah diresmikan pengoperasian sarana transportasi sungai yang lebih populer disebut angkutan *waterways* oleh Gubernur Provinsi DKI Jakarta. Sistem Transportasi sungai tersebut merupakan subsistem dari suatu sistem besar yang sedang dikembangkan oleh Pemprov DKI yang lazim disebut dengan Pola Transportasi Makro (PTM). Pola Transportasi Makro ini merupakan sebuah sistem transportasi terpadu dari beberapa subsistem moda transportasi lainnya diantaranya *Bus Rapid Transit (BRT)*, *Light Rapid Transit (LRT)*, *Mass Rapid Transit (MRT)*, dan transportasi sungai (*Waterways*).

Pada awal percobaan operasionalnya, Pemprov DKI melalui penumpang Dinas Perhubungannya telah menurunkan 2 (dua) buah kapal antara lain KM. Kerapu III dan KM. Kerapu IV yang mempunyai karakteritis design yang sama dengan panjang kapal 10 m, lebar 2.5 m, tinggi 2.75 m, dengan kapasitas 28 orang. Dalam perjalanannya, angkutan *waterways* ini telah mengalami berbagai kendala dan hambatan. Kendala tersebut timbul akibat dari ketidak sempurnaan sarana maupun prasarana *waterways* yang ada saat ini. Disisi sarana, kapal penumpang yang disediakan sering mengalami kandas dalam

operasionalnya akibat sarat kapal yang relatif besar. Hal ini merupakan konsekuensi dari pemilihan tipe kapal yang kurang sesuai untuk perairan sungai, karena kedua kapal tersebut pada awalnya memang direncanakan dan bahkan telah difungsikan sebagai angkutan penumpang laut dengan rute dari Pelabuhan Marina Jaya Ancol ke Daerah Kepulauan Seribu. Kondisi perairan laut yang dilalui relatif dalam dan sesuai dengan draft yang dimilikinya. Hal ini tercermin dari bentuk badan kapal yang berbentuk *mono-hull*, berbahan material aluminium serta mempunyai kecepatan cukup tinggi sebagai kapal cepat yaitu 25 *knots* dengan *draft* cukup dalam sekitar 0.6 meters. Akibatnya kedua kapal tersebut kurang sesuai untuk dioperasikan sebagai sarana angkutan *waterways* yang kedalaman airnya sangat terbatas. Disamping itu, Dinas Perhubungan Pemrov DKI secara khusus belum melakukan studi tentang *design requirement* kapal angkutan sungai (*waterways*) untuk kondisi alur sungai di DKI.

Disisi prasarana, alur sungai yang dikembangkan untuk angkutan *waterways* untuk sementara diawali dengan mengambil ruas dari aliran sungai Banjir Kanal Barat (BKB) yang berjarak 1,7 km dari total 17 km panjang keseluruhan aliran sungai Banjir Kanal Barat. Ruas sungai yang dipilih sebagai model atau *cluster* ini dilengkapi dengan 3 (tiga) sarana dermaga yaitu dermaga Halimun, dermaga Dukuh Atas, dan Dermaga Karet. Dari pantauan dilapangan, disayangkan kedalaman air sering berada dikisaran 1 (satu) meter kebawah dikarenakan debit air dari pintu air Manggarai kurang memadai akibat musim kemarau dan belum selesainya usaha pengerukan dasar sungai hingga mencapai kedalaman yang memadai. Kendala lain yang dialami dari faktor prasarana adalah banyaknya debris atau sampah air baik yang berada dipermukaan maupun yang melayang diantara permukaan dan dasar sungai yang sering mengganggu fungsi kinerja daun *propeller* sebagai penggerak kapal.

Untuk menunjang suksesnya program pengembangan angkutan *waterways* ini, maka perlu dilakukan kajian atau penelitian dengan maksud untuk mengidentifikasi *design requirement* sarana kapal yang sesuai untuk kondisi alur sungai di DKI khususnya di ruas sungai Banjir Kanal Barat. *Design requirement* tersebut mencakup ukuran utama kapal (Panjang, Lebar, Sarat, kapasitas penumpang, bobot, serta kecepatan kapal), tipe *hull* (badan) kapal serta bahan material konstruksi yang sesuai. Dengan demikian kapal yang direncanakan mampu memiliki sarat lebih kecil, berat (*displacement*) kapal yang lebih ringan, mempunyai kapasitas penumpang yang relatif sama namun mampu berlayar di alur sungai yang berkedalaman sangat terbatas minimal 1 (satu) meter keatas. Meskipun kesuksesan sistem transportasi *waterways* ini melibatkan 2 (dua) faktor utama terkait yaitu faktor sarana dan prasarana, namun penelitian kali ini dibatasi dan difokuskan hanya pada faktor sarana atau kapalnya saja. Sedangkan penelitian maupun kajian terhadap prasarana *waterways* akan dilakukan dalam segmen yang terpisah dari penelitian ini.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Sarana *Waterways* adalah sarana transportasi air yang telah ditetapkan dalam Peraturan Gubernur Provinsi Daerah khusus Ibukota Jakarta tentang Pola Transportasi Makro nomor 103 Tahun 2007 untuk dikembangkan sebagai sarana alternatif. Dalam Bab IV tentang Pengembangan Sistem Transportasi dijelaskan perencanaan dan pengembangannya dalam pasal 4 meliputi :

- a. Pengembangan sistem angkutan umum bus;
- b. Pengembangan sistem angkutan umum masal;
- c. Pengembangan sistem jaringan jalan;
- d. Pengembangan sistem angkutan rel;
- e. Pengembangan sistem transportasi alternatif;
- f. Pengembangan kebijakan pendukung.

Sedangkan definisi transportasi alternatif menurut Bab IV pasal 1 adalah pemindahan orang dan/ atau barang dari satu tempat ke tempat lain dengan menggunakan moda angkutan sungai. Dalam pengembangannya, di Bab IV Pasal 18 menerangkan bahwa :

- a. Untuk pelaksanaan pengembangan sistem transportasi alternatif sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4 ayat (1) huruf e merupakan pengembangan angkutan sungai dengan memanfaatkan kanal/ sungai.
 - b. Pelaksanaan pengembangan sistem transportasi alternatif sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan secara bertahap mulai tahun 2004 sampai tahun 2020.
2. Definisi dan pengertian Catamaran menurut sumber dari: *Society of Naval Architects and Marine Engineers: "Ship Design & Construction, vol.II., Sheridan Books,"* London 2004 adalah kapal permukaan yang terdiri dari dua hulls yang terpisah, ditempatkan pada jarak tertentu satu sama lain dan disatukan oleh konstruksi kotak yang ditempatkan selebar lambung. Prinsip penerapan ini adalah untuk meningkatkan stabilitas kapal. Di sisi lain, masalah stabilitas kapal monohull diselesaikan dengan beban tambahan yang cukup berat ke dalam kapal sebagai ballast.
 3. Alasan pemilihan Catamaran sebagai kapal water ditinjau dari faktor engineering (teknis) yang meliputi tahanan air yang kecil akibat pengaruh dari faktor *slender hulls* (L/b), stabilitas yang lebih baik, stabilitas awal pada sudut oleng kecil lebih baik dari kapal monohull telah dibuktikan dalam suatu penelitian yang dilakukan oleh Albert Nazarov, Naval Architect Phd, yang berjudul "*Why Catamarans? Design factors and applications of the two-hull concept*", 2006-2007.
 4. Alasan pemilihan kapal Catamaran menjadikan pilihan bagi operator dibandingkan tipe *mono-hull* dikarenakan berbagai alasan yang sudah jelas dan terbukti diantaranya adalah bahwa kapal penumpang Catamaran lebih baik dalam pemenuhan tentang kebutuhan ruang, ketentuan stabilitas, serta kebutuhan fungsional lain seperti misal faktor kenyamanan dan kelayak lautan yang telah mencapai persyaratan keselamatan dilaut juga telah diselidiki dalam penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa ilmuwan dalam bidang *Naval Architecture* antara lain Serdo Kos, David Brcic, Vlado Francic dalam papernya yang berjudul "*Comparative Analysis of Conventional and Swatch Passenger Catamaran*", 2009.
 5. Keunggulan maupun kelemahan dari bahan material FRP ditinjau dari segi kekuatan konstruksi, perawatan, dan biaya dibandingkan dengan bahan material lain untuk konstruksi kapal telah diselidiki dan dibuktikan oleh NedCoackley, Y.Bryn, GlanConwy, Clwyd LL28 5SL, UK, dalam bukunya yang berjudul "*Fishing Boat Construction: 2 Building a Fibreglass Fishing Boat*", 1991.

6. Pengaruh hubungan draft (sarat air) kapal terhadap kedalaman sungai serta kecepatan kapal mempengaruhi timbulan ombak sapuan yang terjadi dikiri kanan badan kapal yang diwujudkan oleh Formula Depth Froude Number $F_{dn} = V / \sqrt{g \cdot h}$ dimana V adalah kecepatan, g gravitasi bumi, dan h adalah kedalaman sungai merupakan hasil penelitian dari Andreas Hu¹ sig,1 Tobias Linke,² and Claus Zimmermann,³ Fellow, ASCE dalam judul "*Effect from Supercritical Ship Operation on Inland Canals by Subcritical and Supercritical speeds in Restricted waters*", 1995.
7. Pengaruh ombak sapuan dari kapal menjadi masalah utama sebagai penyebab erosi pada pantai maupun tebing sungai serta kapal-kapal kecil di sekitarnya menjadikan bahan penelitian dari Mohamad Pauzi Abdul Ghani^{1*}, M.N. Abdul Rahim² ¹Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 2008 dengan judul "*The Prediction of Wake Wash in Towing Tank*" yang menggambarkan hasil model test dari kapal cepat untuk memprediksi *wake wash* (ombak sapuan) dalam 3 (tiga) kategori bilangan tak berdimensi dari formula Depth Froude Number (F_{nh}) yaitu kapal berlayar dengan kondisi subcritical $F_{nh} < 1$, critical $F_{nh} = 1$, dan supercritical $F_{nh} > 1$ dimana Transcritical atau near critical berada dalam range $0.85 < f_{nh} < 1.1$.
8. Sedangkan pemilihan bentuk badan catamaran apakah bentuk Round Bilge atau Hard Chine Hull Shapes tergantung pada fungsi dan kecepatan kapal yang dikehendaki. Untuk kapal dengan kecepatan rendah dan bermuatan lebih besar disarankan untuk menggunakan tipe Round Bilge sedangkan untuk kapal dengan kecepatan lebih tinggi digunakan tipe Chine Hull. Hal ini diuraikan dalam penelitian yang dilakukan oleh Prasanta K. Sahoo dan Lawrence J. Doctors dengan judul : "*Theoretical and Experimental Study of Motion Characteristics of High-Speed Catamaran Hull Form*"; Proceedings of The Ninth International Symposium on Practical Design of Ships and other Floating Structures, Luebeck-Travemuende, Germany 2003.
9. Tahanan kapal Catamaran lebih kecil dibandingkan tahanan kapal mono-hull pada kecepatan tinggi dikarenakan tahanan sisa (*Eddy making resistance*) akibat faktor slender hull yang jauh lebih besar dari Catamaran. Namun pada kecepatan rendah dibawah sekitar 6 knots tahanan kapal Catamaran lebih besar dikarenakan pengaruh dari tahanan gesek badan lambung kapal akibat faktor *wetted surface area* kapal catamaran yang lebih besar. Hal ini dijelaskan dalam penelitian yang dilakukan oleh M.S.Seif dan E.Amini, Dept.of Mech.Eng., Sharif University of Technology, Teheran, Iran. Dalam sebuah judul "*Performance Comparison Between Planning Monohull and Catamaran at High Froude Numbers*", 2003.

METODOLOGI

Metodologi yang diterapkan untuk mencapai tujuan dalam penelitian ini secara garis besar meliputi metodologi pengumpulan data, metodologi dari instrumentasi yang digunakan, dan metodologi untuk analisa data.

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah pertama-tama melalui tindakan *survey* dilapangan dengan maksud untuk memperoleh data primer baik melalui pengamatan maupun pengukuran terhadap kinerja operasional sarana-prasarana *waterways* yang ada saat ini. Disamping itu dilakukan pula wawancara dengan pihak-

pihak terkait khususnya berkaitan dengan pengoperasian kapal *waterways* diantaranya adalah dengan pihak management operasional dalam hal ini Dishub Pemprov DKI serta pihak operator lapangan dalam hal ini crew kapal. Kedua adalah perolehan informasi data sekunder melalui tinjauan pustaka, tinjauan studi dalam bidang penelitian yang sama serta dari berbagai sumber informasi yang lain. Sedangkan instrumentasi yang digunakan dalam proses penyusunan, pengolahan dan analisa data adalah dengan menggunakan teori statistik melalui metode *p-Chart* yang dilengkapi dengan kedua batas *Upper* dan *Lower Control Limit*nya melalui bantuan *software excel* maupun beberapa formula empiris dari *hydrodynamic theory* di bidang *Naval Architect*. Sehingga metode yang digunakan untuk analisis data ini pada prinsipnya menggunakan metode analisis deskriptif -kwanitatif.

DATA DAN ANALISIS

A. Review Kondisi Sarana dan Prasana Angkutan Sungai (*Waterways*) Di DKI saat ini.

1. Kondisi Sarana *Waterways*

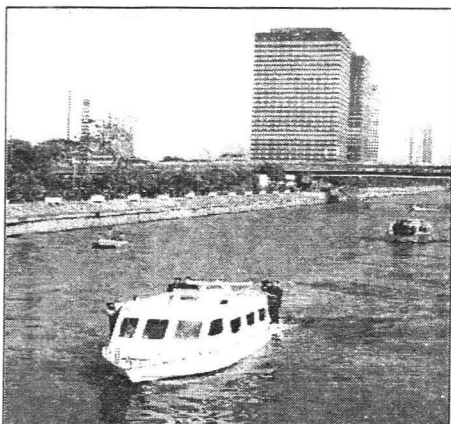
Sarana *waterways* yang dioperasikan untuk melayari sungai Banjir Kanal Barat (BKB) berjumlah 2 (dua) buah kapal dari 6 buah kapal tipe sejenis yang telah disiapkan oleh Dinas Perhubungan Pemprov DKI. 4 (empat) buah kapal sisanya berada di Dermaga Marina Jaya Ancol. Dua buah kapal tersebut adalah Kapal Kerapu III dan IV yang mempunyai karakteristik teknis seperti yang tertera dalam tabel 1.

Kapal tersebut diatas pada awalnya berfungsi sebagai sarana angkutan transportasi laut dengan rute Jakarta menuju Kepulauan Seribu dan sebaliknya. Berhubung belum tersedianya design kapal untuk kapal khusus untuk angkutan sungai maka untuk sementara waktu Dinas Perhungan mencoba mengoperasikan kapal tipe angkutan laut itu sebagai kapal angkutan sungai. Dalam praktek operasionalnya sebagai sarana *waterways* kapal tersebut hanya beroperasi dengan kecepatan dari 3 (tiga) *knots* hingga maximum 8 (delapan) *knots*. Selama pengamatan dalam uji coba pengoperasian, kapal sering beroperasi dengan dengan kecepatan sekitar 3 (tiga) *knots* seperti yang terlihat pada gambar 1 sebagai akibat dari kondisi sungai yang tidak mendukung baik kondisi kedalaman yang kurang memadai maupun kualitas airnya yang banyak mengandung debris (benda apung).

Tabel 1: Karakteristik Teknis KM Kerapu III dan IV

Nama Kapal	KM. Kerapu
Tipe Kapal	Kapal Penumpang
Nomor Lambung	GT.6.J.16 No.1253
Tipe Lambung	Monohull
Material Konstruksi	Aluminium
Panjang Kapal	10.0 m
Lebar Kapal	2.5 m
Draft Kapal	0.6 m
Tinggi Kapal	2.75 m
Tenaga Mesin	2 x 200 HP
Kapasitas Penumpang	28 -30 penumpang
Kecepatan (max)	25 <i>Knots</i>
Rute Pelayaran	Jakarta - Kepulauan Seribu

Sumber : Dinas Perhubungan Pemprov DKI



Gambar 1: Operasional KM Kerapu III dan IV.



Gambar 2: Peta Banjir Kanal Barat

dalam berbagai macam bentuk. Sehingga dengan demikian kedua kapal tersebut dapat dikatakan tidak mempunyai kinerja operasional yang optimal atau dengan kata lain tenaga penggerak mesin memiliki daya yang berlebihan (*over design*) bila dioperasikan di perairan sungai sebagai sarana *waterways*.

Lebih dari itu kapal Kerapu III dan IV yang memiliki sarat sekitar 0.6 m membuat kekhawatiran nahkoda untuk mengoperasikan kapal dengan kecepatan hingga 8 (delapan) *knots* di perairan sungai yang berkedalaman 1 (satu) meter terhadap resiko kandas serta dampak besar gelombang yang ditimbulkan disisi kiri kanan kapal.

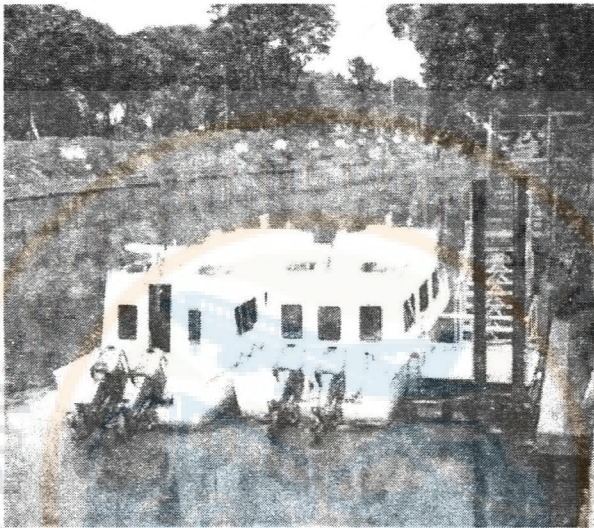
2. Kondisi Prasarana *Waterways*

Waterways telah direncanakan penggunaannya untuk dioperasikan baik pada ruas Banjir Kanal Timur (BKT) Maupun Banjir Kanal Barat (BKB). Namun sebagai tahap awal proyek *waterways* ini memprioritaskan pembangunannya pada ruas Banjir Kanal Barat (BKB) yang membentang dari hulu di daerah pintu air Manggarai hingga hilir di daerah Muara Angke Jakarta Utara dengan jarak sepanjang 17 km.

Lebih jelasnya BKB ini yang juga sering disebut sebagai Kali Malang Barat merupakan aliran banjir kanal yang berawal dari Daerah Manggarai ke arah barat melewati Pasar Rumput, Dukuh Atas lalu membelok ke arah barat laut di daerah Karet Kubur. Selanjutnya ke arah Tanah Abang, Tomang, Grogol, Pademangan, dan berakhir disebuah *reservoir* di daerah Muara Angke-Pluit Jakarta Utara.

Fokus pembangunan prasarana *waterways* di Ruas Banjir Kanal Barat ini dimulai dari rute Manggarai-Karet 3,6 km. Dari ruas Manggarai-Karet tersebut, ruas yang telah disiapkan dan telah dilakukan pengerukan serta pembangunan tepian sungai /river bank dengan pagar beton adalah ruas Halimun-Karet yang berjarak 1,7 km. Sepanjang ruas Halimun-Karet telah pula dibangun dermaga tempat naik turun penumpang ditiga tempat antara lain dermaga Halimun, dermaga Dukuh Atas, dan Dermaga Karet. Dipilihnya lokasi Dukuh Atas merupakan bagian dari peta lokasi sistem Pola Transportasi Makro (PTM) yaitu tempat terintegrasinya beberapa sarana transportasi diantaranya Bus Rapid Transport (BRT)/busway, Light Rapid Transit (LRT)/mono rail, Mass Rapid Transit (MRT)/subway, dan Angkutan Sungai/*Waterways*. Disamping itu, ruas Halimun-

Karet merupakan koridor perkantoran, pusat aktivitas dan bisnis yang akan menjadikan bangkitan dan tarikan yang tinggi bagi roda perekonomian setempat. Setelah melalui uji coba diruas jalur ini, kedua sarana/kapal *waterways* banyak mengalami kendala khususnya masalah kedalaman sungai yang sering mencapai kurang dari 1 (satu) meter. Sehingga jumlah penumpang harus dikurangi dari kapasitas semula 28-30 penumpang menjadi 15 hingga 20 penumpang agar kapal tidak kandas dan tetap bisa beroperasi. Akibat dari seringnya mengalami kendala akibat draft kapal yang cukup tinggi disertai dengan kedalaman air yang sering surut maka kedua kapal pada akhirnya sering beristirahat didermaga Halimun seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3 : KM Kerapu III dan IV didermaga Halimun.

Dari Dinas Pemrov DKI telah direncanakan untuk memperdalam kembali alur sungai melalui pengerukan hingga kedalaman yang ideal dari minimal 1 (satu) hingga 2.5 m tanpa harus tergantung dari pengaturan debit sungai melalui sistem buka tutup pintu-pintu air di Manggarai dan Pintu air Karet . Lebar sungai pada ruas Halimun-Karet saat ini sudah cukup memadai berdasarkan pengalaman operasional kapal yaitu berkisar antara 30 hingga 50 m . Dinas Pekerjaan Umum (DPU) DKI telah pula melanjutkan pembangunan prasarana *waterways* ini di ruas kali Angke yaitu dengan terlebih dahulu meninggikan 3 (tiga) buah jembatan yang dilalui setinggi 2,75 m minimal dari permukaan air sungai hingga sisi bagian bawah jembatan yaitu jembatan Pesing, Jembatan Genit, dan jembatan Teluk Gong. Dua dari tiga jembatan tersebut telah selesai ditinggikan diantaranya adalah jembatan Genit dan jembatan Teluk Gong.

B. Review dan Analisis Bentuk dan Material Struktur Badan Kapal *Waterways* Pada Umumnya.

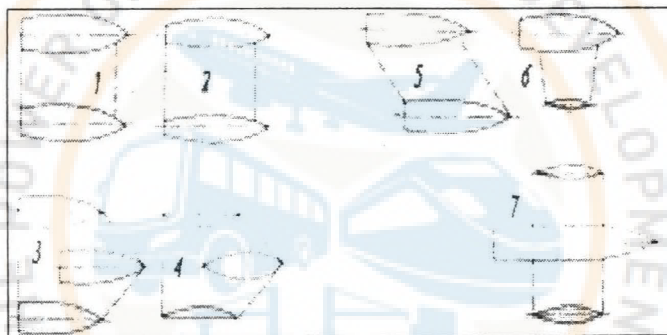
Tujuan dari review dan analisis bentuk badan kapal (*hull form*) dan material yang digunakan untuk struktur badan kapal angkutan sungai (*waterways*) pada umumnya adalah untuk memberikan gambaran secara umum tentang keuntungan dan kerugian dari beberapa

bentuk badan kapal dan material struktur yang pernah digunakan sejauh ini yang pada akhirnya diharapkan dapat menentukan bentuk badan kapal dan bahan material struktur yang sesuai untuk diterapkan di angkutan sungai di wilayah Pemprov DKI.

1. Bentuk Lambung Kapal

Secara umum bentuk atau tipe badan kapal dapat diklasifikasikan dalam 2 (dua) golongan lain antara lain: bentuk kapal dengan komposisi badan tunggal (*mono-hull*) dan bentuk kapal dengan komposisi badan lebih dari satu (*multi-hull*).

Multi-hull sendiri dapat diklasifikasikan dalam berbagai bentuk sesuai dengan jumlah, bentuk dan susunan badan kapal yang memiliki *water plane area* yang kecil (*small water-plane area/SWA ships*). Tipe *multi-hull* yang berbeda-beda dari satu dan lainnya tergantung dari spesifikasi yang mereka miliki. Yang harus diperhatikan bahwa berbagai bentuk badan kapal termasuk *SWA hulls* yang mempunyai tinggi *transversal metacenter* nol maupun negative dapat diterapkan sebagai bagian dari kapal *multi-hull*. Badan kapal ini juga dapat berbentuk asimetrik terhadap sumbu tengah longitudinalnya. Penjelasan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 : Berbagai bentuk kapal *multi-hull*

Dari gambar 4 tersebut dapat diterangkan bahwa nomor 1 dan 2 adalah *Catamaran* dengan *symmetrical* dan *asymmetrical hulls*; nomor 3 dan 4 adalah kapal *trimarans*, *symmetrical* dan *asymmetrical hulls*; nomor 5 adalah kapal *catamaran with staggered hulls*; nomor 6 adalah kapal *proa* dimana satu *hull* lebih besar dan *hull* yang lain lebih kecil yang berperan sebagai *outrigger* (cadik); nomor 7 adalah kapal dengan dua *outriggers*.

Walaupun demikian, kajian ini hanya akan difokuskan pada kapal *multi-hull* dengan tipe *catamaran* saja. Hal ini dikarenakan kapal tipe *catamaran* (*twin-hull*) lebih lazim dan umum diaplikasikan dalam dunia angkutan penumpang khususnya sarana angkutan sungai diberbagai belahan dunia.

Alasan kapal *Catamaran* menjadikan pilihan bagi operator dibandingkan tipe *mono-hull* dikarenakan berbagai alasan yang sudah jelas dan terbukti diantaranya adalah bahwa kapal penumpang *Catamaran* lebih baik dalam pemenuhan tentang kebutuhan ruang, ketentuan stabilitas, serta kebutuhan fungsional lain seperti misal faktor kenyamanan dan kelayak lautan yang telah mencapai persyaratan keselamatan dilaut. Namun demikian, bila kapal *catamaran* dioperasikan dilaut terbuka dengan kondisi laut yang berombak besar penumpang sering mengalami hal yang sensitive terhadap gerakan

rolling (oleng) dan *heaving* (naik-turun). Hal ini telah diselidiki dalam pengamatan dilapangan dan studi yang dilakukan oleh beberapa ilmuwan dalam bidang *Naval Architecture* antara lain Serdo Kos, David Brcic, Vlado Francic dalam papernya yang berjudul "*Comparative Analysis of Conventional and Swatch Passenger Catamaran*".

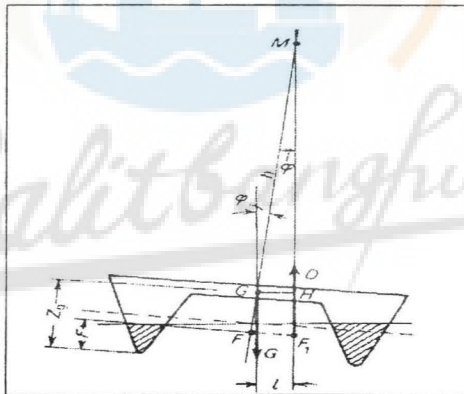
a. Stabilitas kapal

Pada kapal *mono-hull*, kemampuan stabilitasnya tergantung pada bentuk badan kapal dimana pergeseran titik pusat daya apungnya dalam arah melintang hanya maksimum sampai sekitar $\frac{1}{4}$ lebar kapal ketika kapal mengalami oleng kesamping pada sudut kemiringan tertentu dikarenakan pengaruh gaya eksternal dari samping. Sehingga dapat dikatakan dengan jelas bahwa moment pengembalian posisi kapal kearah tegak mempunyai keterbatasan akibat keterbatasan dimensi lebar kapal. Sedangkan pada catamaran yang mempunyai dimensi lebar kapal jauh lebih besar akan mempunyai nilai pergeseran titik pusat daya apung yang lebih besar yang berarti bahwa moment pengembalian posisi kapal kearah tegak juga lebih besar pada sudut oleng kecil (dibawah 7° sampai 10°).

b. *Seakeeping*

Dalam hal *seakeeping* khususnya *rolling behaviour* dari kapal catamaran maka berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dinyatakan bahwa amplitudo *rolling catamaran* hampir 2.5 lebih kecil dari *mono-hull* pada besar *displacement* yang sama. Hal ini berarti dengan sudut oleng yang kecil telah menghasilkan *transverse stability* yang besar (*righting moment*) dari lebar keseluruhan kapal *twin-hull* ini sebagai akibat dari tingginya titik *metacenter* yang dimiliki (titik M) seperti terlihat pada gambar 5.

Jadi kelebihan yang dimiliki oleh catamaran dibandingkan dengan *mono-hull* dapat di artikan sebagai berikut:



Gambar 5: Initial Stability dari Catamaran

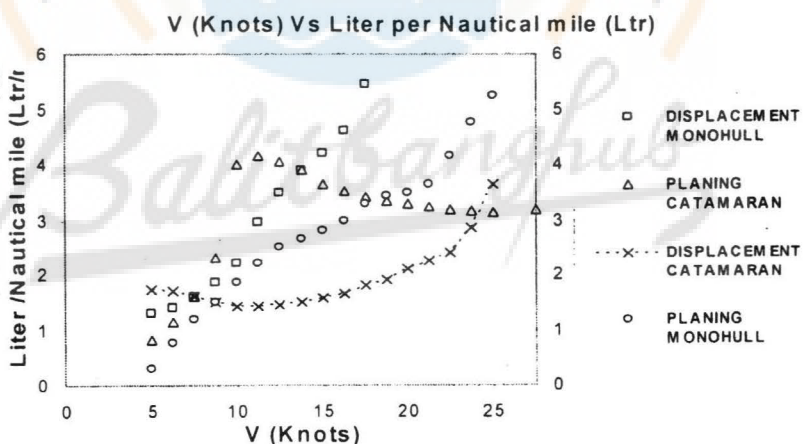
Walaupun demikian kelebihan sifat ini akan menjadi masalah bila *catamaran* berada pada sudut oleng yang besar karena *righting moment* yang besar pula sehingga cenderung untuk cepat keposisi tegak. Hal ini yang menyebabkan kenyamanan terganggu bagi penumpang diatas kapal. Untuk itu kapal catamaran sangat ideal bila dioperasikan didaerah perairan tenang (*calm water*).

Jadi dari uraian diatas, kelebihan kapal catamaran terhadap *mono-hull* dapat disimpulkan sebagai berikut:

- *Deck area* yang lebih luas dibandingkan *mono-hull* sehingga mampu memberikan nilai yang lebih ekonomis dari sisi kapasitas penumpang.
- *Transverse stability* yang lebih besar.
- Lebih *seaworthy* (layak laut) dibanding *mono-hull*.
- *Seakeeping performance* yang lebih baik karena memiliki *water-plane area* (*SWA ships*) yang lebih kecil.
- Aspek parameter dari hull form khususnya rasio L/b (*slenderness*/kelangsingan) yang lebih tinggi sehingga membuat energi lebih efisien dengan bertambahnya kecepatan kapal. L dan b adalah ukuran panjang dan lebar dari salah satu hull catamaran pada garis air.

Pada gambar 6 dapat dijelaskan bahwa perbedaan energi bahan bakar yang dikeluarkan oleh *catamaran* dan *monohull* baik dengan *displacement hull* maupun *planing hull* mempunyai efisiensi pemakaian bahan bakar yang berbeda.

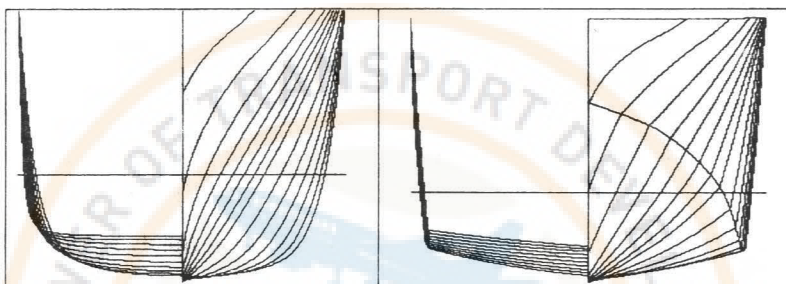
Untuk tipe *displacement catamaran*, saat kapal bergerak dengan kecepatan rendah dibawah sekitar 6 (enam) *knots* efisiensi bahan bakar yang digunakan lebih rendah atau lebih boros dibandingkan dengan kapal *displacement mono-hull*. Hal ini dikarenakan kapal *catamaran* mempunyai *wetted surface*/ permukaan basah yang lebih besar berakibat *viscous drag* atau *friction resistance* (R_f) jauh lebih besar dari R_f *mono-hull* meskipun R_r (tahanan *residual*/ *eddy making resistance*) *catamaran* lebih kecil. Hal ini menyebabkan tahanan total (R_t) *catamaran* lebih besar dan berakibat pada pemakaian bahan bakar yang lebih besar ($R_t = R_f + R_r$).



Gambar 6: Grafik Perbandingan Fuel Economy Catamaran dan Mono-hull

Namun pada kecepatan diatas 6 *knots* *catamaran* lebih efisien dalam pemakaian bahan bakar dibanding *mono-hull*. Hal serupa akan terjadi pada *planing catamaran* yang lebih efisien terhadap bahan bakar saat mencapai kecepatan diatas sekitar 17 *knots*. Bentuk *hull* kapal *catamaran* sendiri secara umum dapat dibagi dalam 2 (dua) tipe

yaitu *Round bilge* dan *hard chine* seperti terlihat dalam gambar 7. Bentuk *hard chine* mempunyai *wetted surface area* atau luas permukaan basah lebih besar dari pada luas permukaan basah pada bentuk *round bilge* sehingga berakibat pada *Frictional drag* yang lebih besar. Walaupun demikian, pada kecepatan lebih tinggi *hard chine* menghasilkan gaya angkat lebih besar (*bigger dynamic lift*) sehingga *wetted surfacenya* akan mengecil. Hal yang berlawanan, bentuk *round bilge hull* pada kecepatan tinggi akan menghasilkan tahanan total (R_t) lebih besar akibat dari penambahan tahanan sisa (*residual resistance*) atau *eddy making resistance* yang jauh relative lebih besar dari pada *frictional drag* yang ditimbulkan. Maka bentuk badan kapal tipe *Round Bilge* lebih sesuai peruntukannya untuk kapal berkecepatan rendah dan bermuatan lebih banyak. Sedangkan tipe *Hard Chine* digunakan untuk kapal berkecepatan lebih tinggi dan bermuatan lebih ringan.



Gambar 7: *Round Bilge (left) and Hard Chine (right) Shapes of Catamaran*

2. Material Struktur Badan Kapal

Bahan material utama yang digunakan untuk konstruksi badan kapal pada umumnya meliputi bahan dari *Wood* (kayu), *steel* (baja), aluminium, *ferrocement*, dan *FRP* (*Fibre Reinforced Plastic*). Setiap jenis bahan tersebut mempunyai manfaat yang optimum tergantung pada kondisi dan tujuan penggunaannya. Bahan material kayu (sebagai misal) dikenal sebagai bahan material tradisional yang tergantung pada keberadaan hutan kayu dan tenaga ahli yang tersedia dimana semakin lama semakin menyusut ketersediaannya. Aluminium dengan *grade* untuk bahan konstruksi kapal merupakan bahan yang ringan, tahan lama, dan memerlukan juga keahlian dari tenaga kerja. Sedangkan bahan material *ferrocement* membutuhkan biaya yang rendah dan jumlah tenaga kerja yang besar. Bahan material baja pada umumnya lebih mudah untuk diperoleh dari pada aluminium dan baja sifatnya lebih kasar namun mudah korosi bila tak terlindungi. Baja ini merupakan material pokok di galangan kapal pada umumnya. Jadi dapat dikatakan bahwa masing-masing bahan tergantung manfaat dan tujuan penggunaannya. Bahan material *FRP* (*Fibre Reinforced Plastic*) merupakan bahan material relatif baru. Disamping *FRP* juga ada bahan sejenisnya antara lain *Fiberglass Reinforced Polyeste*, *resinglass*, dan *Glass*, dan *GRP* (*Glass reinforced plastic*). Jenis material ini dibuat ditempat kerja dan merupakan gabungan dari sejumlah *reinforcement* (penguatan) dan cairan kimia yang dipadukan bersama dalam ukuran tertentu yang membentuk kekuatan, kaku namun *flexible* dalam bentuk. Dengan memvariasikan ukuran setiap kandungan campurannya dapat mempunyai sifat yang berbeda sesuai dengan peruntukan yang dikehendaki. Pada Tabel 2 dan Tabel 3 menggambarkan perbandingan

beberapa sifat fisik (*Maximum Strength*) dan biaya per satuan berat dari *FRP*, *Wood*, *Aluminium*, dan *Steel* yang digunakan di galangan kapal.

Tabel 2. Perbandingan *Maximum Strength* (Kekuatan Maksimum)

Material	Specific weight		Tensile strength	Compressive strength	Elastic modulus
	Lb/ft ³	Tonne/m ³	kN/m ² x10	kN/m ²	kN/m ²
FRP	94	1.5	100	100	6
Wood	42	0.7	55	40	8
Aluminium	170	2.7	120	85	70
Steel	485	7.8	210	190	200

Sumber: *Lloyd's Register of Shipping*, UK.

Dari paparan di Tabel 3, dapat digambarkan bahwa baja mempunyai kemampuan akan kekuatan tarik terbesar dari semua material. Namun bahan FRP mempunyai *specific weight* (berat jenis) terkecil kedua setelah kayu. Sedangkan kekuatan tekan (*compressive strength*) pada FRP adalah terbesar kedua setelah baja yaitu 100 kN/ m². Dengan demikian bahan material FRP yang mempunyai sifat ringan dan mempunyai kekuatan yang handal sangat sesuai untuk bahan material konstruksi kapal sebagai sarana *waterways* yang diharapkan mampu mempunyai *draft* kapal yang kecil karena sesuai dengan kondisi alur sungai yang mempunyai kedalaman terbatas.

Tabel 3. Perbandingan *Thickness* dan *Costs* untuk Kekuatan yang sama

Material	Cost/Unit Weighth	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

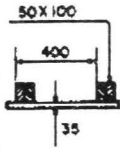
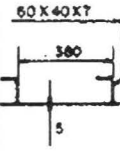
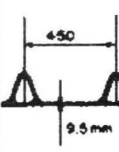
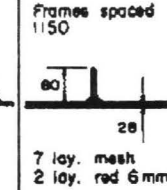
Sumber: *Lloyd's Register of Shipping*, UK.

Dari Tabel 3 diatas, nampak bahwa bahwa biaya per satuan berat yang sama, FRP berada diurutan ke 2 setelah aluminium. Sedangkan biaya terhadap kekuatan bending yang sama bahan FRP juga berada diurutan kedua yang berarti FRP lebih murah dari aluminium. Disamping itu, bahan FRP mempunyai bobot paling ringan diantara *Wood*, *Stell* dan *Ferro-cement* bila ditinjau dari berat kulit, berat *frame* serta berat panel per meter perseginya seperti yang terlihat pada tabel 4.

Secara umum sifat kelebihan dari bahan material FRP dapat diterangkan sebagai berikut:

- Perawatan yang ringan dimana lampiran lambung kapal tidak ada sambungan atau gap sehingga tidak memungkinkan untuk kebocoran.
- FRP tidak mengalami penyusutan karena pengaruh cuaca baik dalam masa pembangunan maupun masa operasional di perairan.
- Lebih mudah dalam konstruksi, dimana sebuah cetakkan dari sebuah desain kapal dapat dipergunakan lagi untuk kapal berikutnya hingga beulang-ulang, sehingga dapat mempersingkat waktu pembangunan untuk beberapa kapal yang sama.

Tabel 4. Perbandingan *Weight* (berat) untuk tiap jenis material per m²

	Wood	Steel	FRP	Ferro-Cement
				
Specific gravity	0.75	7.8	1.5	2.6
Weight of skin per m ²	26 kg	39 kg	14 kg	70 kg
Weight of frame per m ²	19 kg	17 kg	7 kg	6 kg
Weight of panel per m ²	45 kg	56 kg	21 kg	76 kg

Sumber : Lloyd's Register of Shipping , UK.

Dengan demikian, dari analisa bentuk badan kapal dan bahan material konstruksi seperti yang telah dilakukan di atas maka dapat disimpulkan bahwa kapal yang sesuai untuk sarana angkutan *waterways* adalah kapal dengan bentuk twin-hull atau *catamaran* dengan bahan material konstruksi dari FRP.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memperoleh hasil yang diharapkan sesuai dengan tujuan dari penelitian ini yaitu didapatkannya requirement kapal *waterways* yang sesuai untuk perairan alur sungai diruas Banjir Kanal Barat maka perlu dilakukan analisa parameter rasio dan analisa ukuran utama kapal *waterways*.

A. Analisis Parameter Rasio kapal *waterways*.

Untuk memperoleh parameter rasio dengan melalui metode statistik maka terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data dari beberapa kapal tipe *catamaran* dengan bahan material konstruksi dari FRP (tabel 5).

Tabel 5: Data kapal *Catamaran* dengan material 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	35	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	SanayDefa	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

Berdasarkan analisa parameter rasio melalui metode *p-Chart* dengan *upper* dan *lower limitnya* (UL dan LL) telah dihasilkan beberapa *parameter ratio* kapal *catamaran* antara lain :L/B; D/T; L/D; B/T; Displ/L; Displ/Org; $V'''L$; HP/ $(L.B.T)^{2/3}.V^3.10^{-3}$. seperti yang disajikan pada lampiran 1, diantaranya grafik L/ B (*length-breadth*) *ratio versus* L (*length of ship*) dan seterusnya. Besar nilai *parameter ratio* kapal *catamaran* FRP dapat dituliskan seperti yang tercantum dalam tabel 6.

Tabel 6: *Parameter Ratio Kapal Catamaran FRP*

Parameter Rasio	Nilai Range	Nilai Rata-2
L/B	2.52 - 3.70	3.70
D/T	1.96 - 2.42	2.19
L/D	5.25 - 11.24	8.24
B/T	3.63 - 8.07	5.85
V/?L	5.15 - 10.95	8.05
Displ/L	0.47 - 1.09	0.78
Displ/Org	0.21 - 0.42	0.315
HP/ $(L.B.T)^{2/3}.V^3.10^{-3}$	171 - 657	414

B. Analisis Ukuran Utama Kapal *Waterways*

Analisa ini dimaksudkan untuk menganalisa hasil parameter rasio tersebut di atas untuk digunakan sebagai faktor untuk menentukan dimensi ukuran utama kapal yang direncanakan (L, B, D, T, V, Power mesin (HP), Bobot *Displacement*) melalui persaratan yang telah ditentukan yaitu kapal akan mampu beroperasi pada kedalaman sungai minimal 1 (satu) meter. Kedalaman 1 (satu) meter dari sungai Banjir Kanal Barat tersebut dijadikan basis asumsi berdasarkan kondisi eksisting yang sebenarnya.

Berdasarkan teori *hydrodynamic* dalam *ship design*, *Depth Froude Number* adalah formula non dimensional yang mengkorelasikan hubungan antara kecepatan kapal dengan kedalaman alur perairan. Hal ini menjadi sangat significant pengaruhnya saat kapal harus dioperasikan di perairan dengan kedalaman terbatas (*shallow water*). *Depth Froude Number* biasa disimbulkan dengan $F_{nh} = V'''g.h$ dimana V adalah kecepatan kapal, g adalah gravitasi bumi, dan h adalah kedalaman alur sungai atau perairan. Tahanan atau hambatan kapal meningkat dengan significant ketika kapal beroperasi di perairan dangkal dikarenakan kecepatan meningkat disekitar badan kapal dan mengalami perubahan bentuk. Pengaruh dari perairan dangkal dapat diwujudkan dalam rasio antara kedalaman air (h) dan sarat kapal (T). Naiknya tahanan gesek (*frictional resistance*) dan bentuk gelombang diperairan dangkal keduanya akan merubah lebih besar pada bagian belakang badan kapal yang tenggelam dalam air saat beroperasi serta membutuhkan *underkeel clearance*/ jarak dari dasar badan kapal ke dasar sungai. Dari penelitian yang dilakukan oleh Mohamad Pauzi Abdul Ghani dan Abdul Rahim tentang pengaruh *shallow water* dalam penelitiannya yang berjudul "*The Prediction of Wake Wash in The Towing Tank*" dari Fakultas Mechanical Engineering, Universitas Teknologi Malaysia, menyatakan bahwa nilai *Froude Number* (F_{nh}) akan berubah besarnya seiring dengan perubahan bentuk gelombang akibat dari pengaruh kedalaman dapat kecepatan kapal. Dalam *hydrodynamic theory*, F_{nh} dapat diklasifikasikan dalam 3 (tiga) kategori sebagai berikut :

- $F_{nh}<1$ disebut dalam kondisi dibawah kritis (untuk kapal *low speed*),

- $F_{nh}=1$ disebut dalam kondisi kritis (untuk kapal *medium speed*),
- $F_{nh}>1$ adalah keadaan diatas kritis (untuk kapal *high speed*).

Kapal beroperasi diperaian dapat dikelompokkan dalam 2 (dua) kategori h/T atau d/T menurut standard IMO yaitu $h/T \leq 4$ dikategorikan berada diperairan dalam dan $h/T > 4$ dikategorikan berada di perairan dangkal. Sehingga bila kapal berada pada $h/T > 4$ dapat diartikan kapal bebas dari interaksi gelombang dari bawah kapal. Sedangkan clearance antara dasar perairan dengan dasar badan kapal dapat dikelompokkan dalam beberapa kategori :

- Clearance 2140% T untuk $h/Te''4$
- Clearance 150% T untuk $h/T=2.5$
- Clearance 50% T untuk $h/T=1.5$
- Clearance 20% T untuk $h/T=1.2$

1. Penentuan Sarat Kapal (T)

Sarat kapal ditentukan dengan menggunakan asumsi berdasarkan eksisting kondisi kedalaman sungai yang sebenarnya dan seperti yang disaratkan oleh Dishub Pemprov DKI minimal 1 (satu) meter. Dengan menggunakan asumsi $h/T < 4$ untuk perairan dangkal maka diambil nilai $h/T=2.5$. dengan maksud untuk mencapai nilai T yang minimal dan nilai Clearance yang maksimal. Sehingga bila nilai h sudah ditentukan sebesar 1m maka akan didapatkan nilai sarat kapal $T=0.4$ m. Dan clearance antara dasar sungai dengan badan kapal mencapai 0.6m atau 150%T sesuai dengan yang disaratkan.

2. Penentuan Ukuran Utama L, B, D, V, HP, dan Displacement.

Berdasarkan sarat yang telah ditentukan yaitu $T=0.4$ m sebagai input data dan tersedianya hasil analisa *parameter ratio* seperti tertera dalam table 6, maka ukuran utama kapal dapat ditentukan seperti yang tertera dalam table 7.

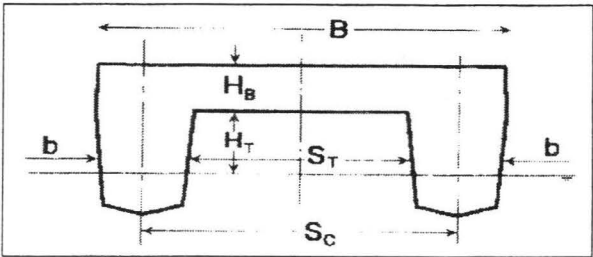
Tabel 7. Ukuran Utama Kapal Catamaran FRP untuk $T=0.4$ m

Parameter Rasio	Nilai Range	Nilai Rata-2	Nilai Yg dipilih	Ukuran Utama Kapal	Nilai	Satuan
L/B	2.52- 3.70	3.70	3.11	L	9.95	m
D/T	1.96- 2.42	2.19	2.19	B	3.20	m
L/D	5.25- 1.24	8.24	8.24	D	1.20	m
B/T	3.63- 8.07	5.85	8.00	T	0.40	m
V/?L	5.15-0.95	8.05	8.05	V	25	knots
Displ/L	0.47-1.09	0.78	0.78	Displ.	7.761	ton
Displ/Org	0.21- 0.42	0.315	0.315	Jml.Org	25	orang
HP/ (L.B.T) ^{2/3} .V ³ .10 ⁻³	171 - 657	414	414	HP	145	hp

Nilai B/T diambil mendekati nilai maksimum dengan maksud untuk mendapatkan lebar kapal yang maksimum untuk mendapatkan ruang akomodasi penumpang yang optimal.

2. Penentuan Rasio *Slenderness* (kelangsingan) L/b .

Untuk menentukan *slenderness ratio* (L/b) maka terlebih dahulu ditentukan dimensi pada salah satu *hull* dari dua *hull* yang membentuk *catamaran* ini. Sedangkan dimensi twin-hull atau *catamaran* dapat dilihat pada gambar 8.

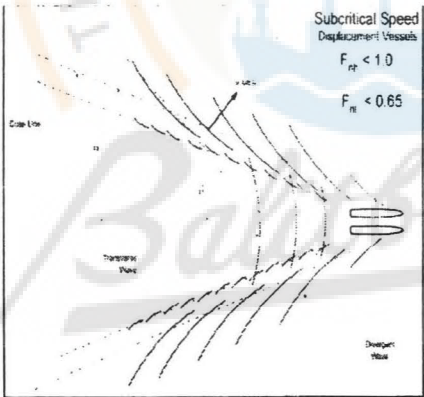


Gambar 8: Dimensi pada *Catamaran*

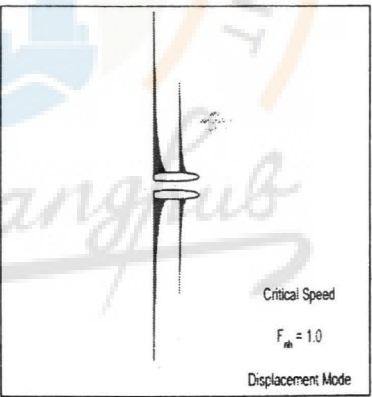
Nilai rasio *slenderness* L/b atau *length-breath (b) ratio* umumnya berada diantara 8-10 untuk slow cruising *catamaran*. L/b diambil 9 untuk mendapatkan nilai b lebih optimal untuk menambah daya apung dan memperkecil *draft*. Nilai b diperoleh 1.1m. Sedangkan Loa (panjang keseluruhan) adalah $1.01L_{pp}$, sehingga Loa adalah 10.05 m. Jadi dari hasil analisa rasio *slenderness* didapatkan dimensi *hull form* untuk $b=1,1m$; $Loa= 10.05m$; dan $L/b=9$.

3. Penentuan V_s (*service speed*) atau Kecepatan Operasional

Kecepatan eksisting kapal *waterways* saat uji coba operasi berkisar 3 *knots*. Sehingga waktu tempuh jarak ruas perdana dari dermaga Halimun menuju dermaga Karet sejauh 1.7 km ditempuhnya dalam waktu 18 menit. Kecepatan maksimal dari kapal *waterways* hasil analisa adalah 25 *knots*. Sehingga untuk penentuan kecepatan operasional dapat dilakukan dengan analisa melalui nilai F_{nh} (*Depth Froude Number*) $F_{nh} = V/\sqrt{g.h}$.



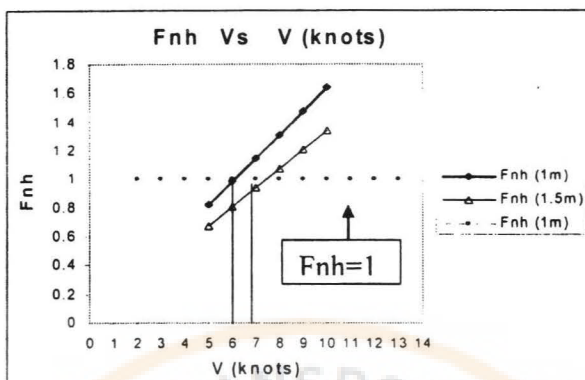
Gambar 9 : Kondisi gelombang Sub-critical



Gambar 10 : Kondisi Gelombang

Faktor yang diketahui $g=9.8 \text{ m/dt}$, h (kedalaman sungai) $=1m$, dan F_{nh} harus dibawah 1 atau $F_{nh}<1$ karena kapal *waterways* direncanakan sebagai kapal low speed yang sesuai untuk perairan dangkal. Hal ini disebabkan bila nilai $F_{nh} \geq 1$ maka akan terjadi perubahan gelombang yang ekstrim pada sungai dan mengakibatkan gangguan pada dinding tepian sungai atau *riverbank* seperti yang disajikan dalam gambar 9 dan 10 dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Sehingga F_{nh} harus <1 .

Dengan memvariasikan kecepatan dari 5 sampai 10 *knots* untuk $F_{nh} < 1$ dan kedalaman 1 dan 1,5 m, maka akan didapat kecepatan service (V_s) yang optimal melalui grafik hasil analisa F_{nh} versus kecepatan.



Gambar 11: Grafik F_{nh} Vs V_{servis} (*knots*)

Dari gambar 11, untuk $F_{nh} < 1$ diperoleh nilai maksimum sebagai berikut:

- Kedalaman (h)=1 m, diperoleh $V_s=6$ *knots* dengan nilai $F_{nh}=0.984$
- Kedalaman (h)=1.5m, diperoleh $V_s=7$ *knots* untuk nilai $F_{nh}=0.938$

Dengan demikian kapal *waterways* dapat menempuh kedalaman sungai 1m dengan kecepatan 6 *knots* dalam keadaan masih dibawah kondisi kritis.

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dari *design requirement* kapal yang dikehendaki meliputi bentuk badan kapal, bahan konstruksi, *parameter ratio*, ukuran utama, serta *hydrodynamic performance* dari kapal maka dapat ditarik kesimpulan seperti yang dituangkan dalam beberapa point sebagai berikut:

1. Bentuk badan kapal yang sesuai untuk sarana *waterways* adalah bentuk *Twin-Hull (Catamaran)* tipe *displacement hull* dan bukan *planning hull* karena sangat sesuai untuk kapal dengan kecepatan *low-speed* atau ke *medium-speed*.
2. Bahan material konstruksi yang sesuai adalah *Fiber Reinforced Plastic (FRP)* karena memiliki beberapa sifat fisik yang baik diantaranya bobot material yang ringan, kekuatan yang *proven*, mudah dalam pembuatan dan perawatan, serta tahan terhadap korosi dan binatang laut.
3. Dihasilkan nilai parameter rasio kapal *catamaran* FRP sebagai berikut $L/B=2.52-3.70$; $D/T=1.96-2.42$; $L/D=5.25-11.24$; $B/T=3.63-8.07$; $V/L=5.15-10.95$; $Displ/L=0.47-1.09$; $Displ/Org=0.21-0.42$; $HP/(L.B.T)^{2/3}.V^3.10^{-3}=171-657$; *slenderness ratio* $L/b = 9$.
4. Ukuran utama kapal *catamaran* adalah $L=9.95m$; $B=3.20m$; $D=1.20m$; $T=0.40m$; $V=25knots$; $Displ=7.761$ ton; Kapasitas=25 org; Tenaga Mesin=145hp. Sedangkan lebar tiap hull $b=1.1$ m dan *slenderness ratio* $L/b = 9$.

5. Kapal mampu beroperasi dialur sungai dengan kedalaman minimal 1 m dikarenakan memiliki draft rendah 0.4m. Sehingga mampu untuk tidak menimbulkan tahanan gelombang dibawah badan kapal akibat adanya *clearance* yang cukup antara dasar badan kapal dengan dasar sungai yaitu minimum 150%T (*draft* kapal) atau 0.6m seperti yang disaratkan.
6. Kecepatan operasional kapal yang ideal yaitu 6 *knots*. Hal ini dilakukan agar kapal tetap dibawah kondisi kritis (*subcritical condition*) dan tetap mencapai nilai F_{nh} (*depth Froude number*) < 1 agar gelombang yang ditimbulkan tidak terlalu besar serta tidak merusak dinding sungai (*river-bank*).
7. Waktu tempuh pelayaran perdana pada jarak 1.7 km dari dermaga Halimun ke dermaga Karet hanya sekitar 9 menit lebih cepat 10 menit dari waktu semula 19 menit saat kapal beroperasi dengan kecepatan 3 *knots*.

B. Saran

1. Diperlukan tindakan rekondisi atas eksisting kedalaman sungai Banjir Kanal Barat dengan kedalaman minimal 1 m, khususnya untuk ruas alur pelayaran perdana dari dermaga Halimun menuju dermaga Karet dengan kedalaman sering dijumpai dibawah 1 m. Dengan demikian kapal tetap dapat beroperasi tanpa tergantung dari sistem pengaturan buka-tutup dari pintu air Manggarai dan Karet dalam rangka menjaga kedalaman sungai.
2. Perlu terlebih dahulu dilakukan uji model melalui *hydrodynamic test* di laboratorium hidrodinamika untuk meyakinkan karakteristik *performance* kapal baik kecepatan, stabilitas, maupun *seakeeping performance*.

DAFTAR PUSTAKA

- Albert Nazarov, "why Catamarans?", Design factors and applications of the two-hull concept, Albatross Marine Design Co., Ltd., 2006-2007.
- Catamarans International News (2008), www.catamaransinternational.com
- Jacob van Renen van Niekerk, "A Comparison of Power Catamaran Hull Types", *Power Multihulls Magazine*, Spring, 2000.
- Marine Encyclopedia, vol.IV, "Initial Stability Catamaran", Lexicographic Institut of Miroslav, Krleza, Zagreb 1983.
- Mohamad Pauzi Abdul Ghani, MN Abdul Rahim, "The Prediction of Wake Wash in Towing Tank", *Journal Mechanical*, Faculty of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Malaysia, 2008.
- Prasanta K. Sahoo and Lawrence J. Doctors, "Theoretical and Experimental Study of Motion Characteristics of High-Speed Catamaran Hull Form", *Proceedings of The Ninth International Symposium on Practical Design of Ships and other Floating Structures*, Luebeck-Travemuende, Germany 2003.
- Society of Naval Architects and Marine Engineers Ship Design & Construction, "Basic Catamaran Dimensions Source", vol.II., Sheridan Books, London 2004.
- *) Lahir di Surabaya, 12 Februari 1956, S1 Teknik Perkapalan ITS, dan S2 *Ship Production Technology*, *Strathclyde University*, UK, Peneliti di Direktorat Teknologi dan Sistem Transportasi-BPPT.