

ANALISA FROUDE NUMBER EKONOMIS PADA KAPAL
WISATA DI WADUK JATILUHUR DENGAN PENDEKATAN
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (STUDI KASUS KM. JASATIRTA)

Samuel, Parlidungan Manik *)

Abstract

Model catamarans increasingly popular as a means of transportation of goods and people that need development to find out more in the interaction prisoners on the ship hull in order to achieve stability and better resistance. KM Jasatirta is one of ship model catamaran (double hull) which is designed to support tourism in Jatiluhur Reservoir. This study aims to find out more details interaction of the total prisoners in the ship's hull KM Jasatirta with Computational Fluid Dynamics approach.

Research carried out several stages of manufacture of the Computational Fluid Dynamic model, simulation input data, running simulations to converge, then analyzes the results of calculations by the method SlenderBody, Delft Series, 98, and CFD. Analysis of the calculation includes the analysis of resistance, Froude Number economic, and comparative analysis of numerical calculation by the method of Computational Fluid Dynamics.

The results of the analysis and calculation of reseach showed that the total ship resistance (R_t) at 2 knots boat speed by using the CFD method at 0.37 kN, Delft method Series'98 of 0.14 kN, while the calculation method for Slender Body 0.04 kN and a analytic calculation by the method of Millward's of 0215 kN. And based on the results of analysis of Froude number of the most economical in terms of aspects of the ship's speed is the method of Computational Fluid Dynamics with a value of 0094 sedangkan Fn projection calculation with a quadratic function then the value of accurate Fn Series'98 Delft method so it can be used as a reference calculation.

Key words : catamarans, resistance, Froude number, CFD.

Pendahuluan

Latar Belakang

Model kapal katamaran semakin populer sebagai alat angkut barang dan manusia sehingga perlu pengembangan untuk mengetahui lebih dalam interaksi tahanan pada lambung kapal agar tercapainya kapal dengan stabilitas serta tahanan yang lebih baik. Kapal katamaran memiliki kelebihan yang dapat menyajikan luasan geladak lebih besar serta memiliki stabilitas melintang yang lebih baik dibandingkan kapal berbadan tunggal.

Kapal Motor Jasatirta merupakan salah satu model kapal katamaran (lambung ganda) yang dirancang untuk menunjang pariwisata di Waduk Jatiluhur. Berdasarkan hasil rancangan kapal diperoleh hasil berupa letak titik bouyancy terletak dibelakang mid-ship kapal sejauh 0,469 m. Kapal wisata ini memiliki ruangan yang cukup untuk menyimpan seluruh perlengkapan kapal dan mampu membawa penumpang dengan kapasitas maksimum 20 orang dan memiliki olah gerak yang baik dan tidak terjadi *deck wetness*, saat gelombang setinggi 0,70 m dengan *wave heading* sebesar 90° , memiliki nilai *amplitudo heave motion* sebesar 0,176 m, *pitch motion* sebesar $1,04^\circ$, dan *roll motion* sebesar $2,99^\circ$.

Kapal katamaran memiliki karakteristik yang kedua lambungnya dihubungkan dengan konstruksi geladak yang kuat dan merentang di atasnya untuk menahan momen bending (*bending moment*) dan gaya geser (*shear force*) yang besar dan bekerja terhadap garis te-

ngah (*Centre line*) kapal. Lambung katamaran didesain sedemikian rupa menurut aliran fluida yang melewati tunnelnya. Susunan lambung terbagi menjadi simetris dan asimetris. Katamaran juga mempunyai garis air lambung yang sangat ramping dengan tujuan untuk memperoleh hambatan yang rendah.

Untuk mengetahui lebih detail adanya interaksi tahanan pada lambung kapal K.M Jasatirta perlu dilakukan uji coba hambatan secara teknis dengan pendekatan *Computational Fluid Dynamic*. Sehingga dapat diketahui lebih rinci mengenai ketahanan daya kapal terutama pada lambung pada saat beroperasi di perairan Waduk Jatiluhur.

Perumusan Masalah

Untuk mendapatkan suatu kapal wisata yang memiliki tahanan lambung yang baik diperlukan perumusan masalah yang sesuai, antara lain sebagai berikut :

1. Perancangan model kapal yang baik dengan bantuan software *delfship*.
2. Koreksi kesalahan permodelan dengan bantuan software hingga benar-benar fix.
3. Menghitung hambatan pada lambung kapal K.M Jasatirta menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamic*.
4. Menghitung *Froude Number* Ekonomis
5. Perbandingan hasil analisa hambatan maupun *Froude Number* ekonomis yang menggunakan pendekatan CFD dengan metode konvensional

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai tahanan kapal katamaran dengan masing-masing variasi kecepatan kapal menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamic* serta analisa *Froude number* ekonomis kapal K.M Jasatirta.
2. Mengetahui perbandingan analisa tahanan maupun *Froude number* ekonomis pada lambung kapal yang menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamic* dengan metode konvensional

Tinjauan Pustaka

Tinjauan Umum Kapal Katamaran

Kapal Katamaran merupakan kapal dengan lambung ganda (*Twin Hull*) sehingga, di mana kedua lambung tersebut dihubungkan dengan konstruksi geladak yang kuat dan merentang di atasnya untuk menahan momen bending (bending moment) dan gaya geser (*shear force*) yang besar dan bekerja terhadap garis tengah (*Centre line*) kapal. Kedua lambung katamaran didesain sedemikian rupa menurut aliran fluida yang melewati tunnelnya. Susunan lambung terbagi menjadi simetris dan asimetris. Katamaran juga mempunyai garis air lambung yang sangat ramping dengan tujuan untuk memperoleh hambatan yang rendah.

Karakteristik Lambung kapal Katamaran

Bentuk kapal katamaran yang dikembangkan pada mulanya diterapkan untuk kapal-kapal dengan ukuran kecil (5 – 20 m) dan diterapkan untuk kapal wisata pantai dalam bentuk cruiser. Kemajuan tersebut tidak terlepas dari penelitian-penelitian yang dilakukan untuk memperbaiki penampilan dan efisiensi kapal monohull.

Sebuah inovasi tentulah berdampak pada bentuk dan unjuk kerja dari barang terdahulunya. Katamaran diteliti dan dikembangkan karena memiliki kelebihan dari kapal monohull yakni :

1. Pada kapal dengan lebar yang sama tahanan gesek katamaran lebih kecil, sehingga pada tenaga dorong yang sama kecepatannya relatif lebih besar.
2. Luas geladak dari katamaran lebih luas dibandingkan dengan monohull.
3. Volume benaman dan luas permukaan basah kecil.
4. Stabilitas yang lebih baik karena memiliki dua lambung.
5. Dengan frekwensi gelombang yang agak tinggi tetapi amplitudo relatif kecil sehingga tingkat kenyamanan lebih tinggi.
6. Dengan tahanan yang kecil maka biaya operasional menjadi kecil.
7. Image yang terkesan adalah keamanan yang terjamin dari faktor kapal terbalik sehingga penumpang merasa lebih aman.

Sedangkan kekurangan kapal katamaran adalah

1. Teori dan standardisasi baik ukuran utama maupun perhitungan struktur masih minim karena masih tergolong teknologi baru.

2. Teknik pembuatan yang agak lebih rumit sehingga membutuhkan keterampilan yang khusus.
3. Dengan memiliki dua lambung maka manuver katamaran kurang baik jika dibandingkan dengan monohull.

Hambatan Kapal

Setiap benda yang bergerak atau dinamis akan memiliki hambatan atau tahanan perlu diperhitungkan agar tidak mengganggu kinerja alat yang digunakan. Tahanan (*resistance*) kapal didefinisikan sebagai estimasi kebutuhan daya efektif agar kapal mampu bergerak dengan kecepatan servis. Pada dasarnya hambatan pada kapal berasal dari 2 (dua) jenis media yang mengelilingi kapal tersebut, yaitu media udara yang berpengaruh pada bagian kapal yang berada diatas permukaan air, dan media cairan yang berpengaruh pada bagian kapal yang berada di bawah permukaan air.

Tahanan kapal merupakan gaya hambat dari media fluida yang dilalui kapal saat beroperasi pada kecepatan tertentu. Besarnya gaya hambat total merupakan jumlah dari semua komponen gaya hambat (tahanan) yang bekerja pada kapal, yaitu :

1. Tahanan gesek (*Friction Resistance*)
2. Tahanan gelombang (*Wave making Resistance*)

Tahanan tambahan (*Appendages Resistance*) , antara lain ; tahanan anggota badan, tahanan kekasaran, tahanan udara, tahanan kemudi.

Angka Froude

Efek dari gaya gravitasi pada suatu aliran ditunjukkan dalam perbandingan gaya inersia dan gaya gravitasi. Perbandingan tersebut dinyatakan dalam bilangan *Froude Number*, dengan bentuk persamaan :

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}} \text{ atau } Fn = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

Dimana :

F_n : Bilangan *Froude Number*

V : kecepatan aliran rata-rata

L : panjang karakteristik (m) , untuk saluran terbuka L sama dengan kedalaman hidraulik (D) yaitu perbandingan luas permukaan aliran (A) satuannya m^2 dengan lebar permukaan atas (T) satuannya m

D : A/T

Berdasarkan angka Froude number kondisi aliran digolongkan menjadi :

- a. Aliran sub kritis : terjadi pada bilangan $F < 1$
- b. Aliran kritis : terjadi pada bilangan $F = 1$
- c. Aliran super kritis : terjadi pada bilangan $F > 1$

Computational Fluid Dynamic

Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah suatu cara penyelesaian masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika fluida diantaranya

kontinuitas, momentum dan persamaan energi. Konsep dasar penggunaan *software* berbasis *Computational Fluid Dynamic* ini adalah penyelesaian metoda numerik dengan sebuah persamaan fluida yaitu Persamaan Navier-Stokes, dengan prinsip :

1. Kekekalan massa
2. Kekekalan momentum (Hukum Newton kedua $F = m \cdot a$)
3. Kekekalan energi

Prinsip fisika ini diaplikasikan pada model dari aliran pada sebaliknya hasil dari aplikasi ini adalah persamaan matematis yang melibatkan yang melibatkan prinsip fisika khusus yang bernama kontinuitas, momentum, dan persamaan energi. Setelah kontinuitas, momentum, dan persamaan energi tersedia bentuk secara khusus akan cocok untuk digambarkan. Pada akhirnya kondisi batas fisika dan pernyataan matematis yang tepat akan dikembangkan berdasarkan persamaan yang harus diselesaikan pada kondisi batas.

Computational fluid dynamic merupakan pemodelan numeris yang dilakukan dengan menggunakan Metode Volume Hingga (MVH) untuk menyelesaikan persamaan kontinuitas dan momentum aliran fluida. Metode ini telah banyak digunakan dalam studi-studi aliran permukaan, terutama studi-studi yang melibatkan lebih dari satu permukaan aliran fluida. Metode ini diperkenalkan pertama kali oleh Nichols dan Hirt (1975) yang kemudian disempurnakan lagi pada tahun 1981.

Metodologi Penelitian

Secara umum metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dari studi literature tentang tahanan kapal serta aliran fluida yang digunakan ada beberapa tahapan, antara lain :

1. Pembuatan gambar pada *software delftship* kemudian dilakukan export dalam bentuk .stl.
2. Melakukan check fix model pada *software Computational fluid dynamic*
3. Running simulasi
4. Kesimpulan dari hasil analisa simulasi

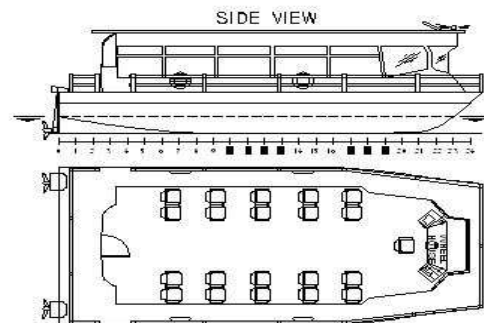
Hasil simulasi aliran fluida pada model yang dibuat untuk kondisi aktual dengan menggunakan CFD, perlu diverifikasi untuk memastikan atau meyakinkan bahwa simulasi tersebut dapat diterima keberadaannya, melalui tiga tahapan validasi (utama 2005):

1. Konvergensi, yaitu proses iterasi perhitungan yang akan selalu dikontrol oleh persamaan pengendali, sehingga jika hasil perhitungan belum sesuai dengan tingkat kesalahan yang ditentukan, maka komputasi akan terus berjalan
2. Analisa grid independence, yaitu penentuan jumlah cell yang optimum, agar waktu dan memori computer yang terpakai tidak terlalu besar
3. Verifikasi atau study komparatis dengan data lain

Perhitungan & Analisa Data

Gambaran Umum

Kapal wisata KM. Jasatirta merupakan hasil perancangan kapal guna menunjang maupun mengembangkan potensi wisata yang dimiliki waduk Jatiluhur. Hasil perancangan kapal wisata tersebut berupa analisa hidrostatis, gambar rencana umum serta analisa stabilitas maupun olah gerak kapal. Hasil rencana umum, menunjukkan bahwa kapal wisata ini memiliki ruangan yang cukup untuk menyimpan seluruh perlengkapan kapal dan mampu membawa penumpang dengan kapasitas maksimum 20 orang.



Gambar 1. Rencana Umum KM. Jasatirta

Pengolahan Data

1. Design Model

Proses pembuatan atau penggambaran model badan kapal KM Jasatirta menggunakan *software delftship* yang memiliki ukuran utama sebagai berikut:

L	= 11,97 m
B _m	= 5,70 m
B ₁	= 1,23 m
T	= 0,60 m

Hasil pembuatan model dari *software delftship* di export dalam bentuk file .stl. Model badan kapal kemudian dapat dibuka dalam bentuk CFD.

2. Design Model

Proses pembuatan atau penggambaran model badan kapal KM Jasatirta menggunakan *software delftship* yang memiliki ukuran utama sebagai berikut :

L	= 11,97 m
B _m	= 5,70 m
B ₁	= 1,23 m
T	= 0,60 m

Hasil pembuatan model dari *software delftship* di export dalam bentuk file .stl. Model badan kapal kemudian dapat dibuka dalam bentuk CFD.

3. Proses Simulasi CFD

Proses model setup dalam simulasi numerik sangat penting dalam proses pemilihan parameter-parameter yang sesuai dan apabila terjadi kesalahan dapat dipastikan hasil simulasi akan salah dan harus mengulang pada tahap ini. Pada langkah model setup pengguna akan mendefinisikan fluida

yang digunakan yaitu menggunakan air dalam satuan SI serta letak gravitasi dan pola gerak kapal yang akan digunakan.

Langkah selanjutnya adalah pembuatan meshing pada area sekitar badan kapal meliputi koordinat kartesian x,y,z dimana setiap koordinat memiliki nilai minimum dan maksimum. Selanjutnya pengguna perlu mendefinisikan jumlah meshing yang diinginkan serta berapa ukurannya dengan menggunakan ratio meshing 1.0 agar mendapatkan hasil yang bagus. Semakin besar jumlah meshing maka hasil meshing akan menjadi semakin halus sehingga proses numerik akan semakin berat dan berlangsung lama serta kapasitas file otomatis semakin besar (lebih dari 2 gigabyte).

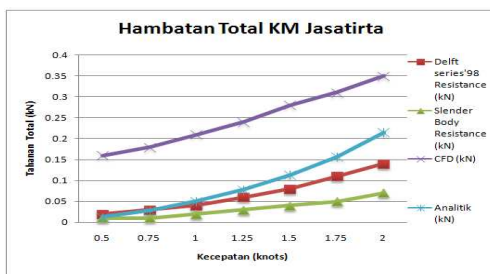
Langkah selanjutnya adalah pendefinisian boundary dari fluida yang menggunakan kecepatan 0 m/s dengan kondisi bahwa kapal bergerak dengan beberapa variasi kecepatan (0-2 knot). *Outflow boundary* dianggap fluida dapat mengalir keluar. Untuk menghitung gaya yang terjadi maka langkah selanjutnya dengan pemilihan gaya yang bekerja yang diperlukan pada *forcé window*.

Analisa Hambatan Kapal

Analisa hambatan kapal pada KM Jasatirta dikondisikan pada variasi kecepatan kapal (Vs) antara 0,5 -2 knot. Berdasarkan hasil perhitungan tahanan total kapal metode *Slender Body*, *Delft Series '98*, metode *Computational fluid dynamic*, serta metode perhitungan secara Analitik. Perhitungan tahanan kapal secara Analitik dilakukan dengan pemilihan konsep kalkulasi yang paling mendekati perhitungan CFD yaitu menggunakan metode *Millward's* (1992). Pemilihan metode *Millward's* digunakan dengan dasar acuan bahwa perhitungan metode tersebut sudah sangat umum digunakan sebagai parameter perhitungan kapal Katamaran yang mengadopsi perhitungan ITTC 1957 (sesuai prinsip Towing Tank). Metode *Millward's* telah sesuai dengan perhitungan tahanan kapal katamaran, dapat dijabarkan dengan rumus perhitungan, sebagai berikut:

$$R_T = 2 [(1+k) R_F + R_W]$$

Hasil perbandingan seluruh perhitungan tahanan total pada kapal KM. Jasatirta



Gambar 2. Grafik Perbandingan Hambatan Kapal Dengan Beberapa Variasi Kecepatan Kapal

Berdasarkan gambar diatas nilai tahanan total kapal KM Jasatirta pada saat kecepatan kapal (Vs) 2 knots dengan menggunakan metode *Slender Body* sebesar 0,07 kN ; dengan metode *Delft Series '98* nilai R_t (hambatan total) = 0,14 kN ; menggunakan metode CFD nilai tahanan total kapal sebesar 0,35 sedangkan perhitungan secara Analitik nilai tahanan total kapal sebesar 0,215 kN. Hasil perhitungan setiap metode tidaklah sama. Hasil perhitungan yang berbeda disebabkan adanya perbedaan asumsi perhitungan pada setiap metode sehingga hasil yang diperoleh pun berbeda.

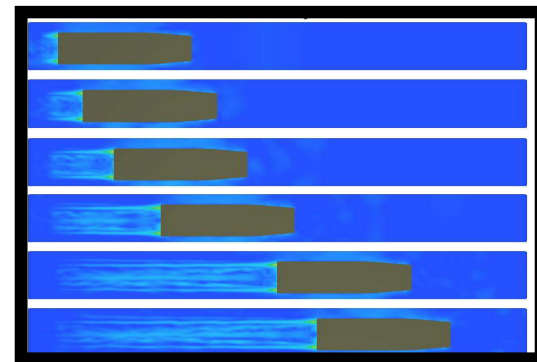
Perbedaan hasil ini bisa juga terjadi dikarenakan beberapa faktor antara lain, pendefinisian (asumsi) pada *Computational fluid dynamic* yang berbeda dengan asumsi metode perhitungan yang lainnya, selain itu adanya sedikit perbedaan pola pemilihan fluida pada *Computational fluid dynamic* sehingga hasil yang ditampilkan berbeda Akan tetapi berdasarkan gambar grafik hasil yang didapat menunjukkan bahwa setiap metode menunjukkan alir grafik yang hampir sama sehingga perhitungan metode *Computational fluid dynamic* bisa dijadikan acuan perhitungan (valid).

Contoh gambaran proses simulasi perhitungan hambatan kapal adalah sebagai berikut :



Gambar 3. Simulasi pada CFD dengan kecepatan kapal 1 knot

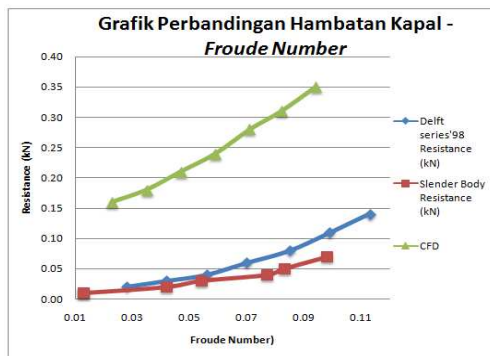
Pola aliran fluida yang dihasilkan pada saat kecepatan kapal 1 knot dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Pola Aliran Fluida Pada CFD Dengan Kecepatan Kapal 1 Knot

Analisa Froude Number Ekonomis

Analisa *Froude Number* ekonomis pada KM Jasatirta dengan variasi kecepatan kapal (V_s) antara 0,5 -2 knot dapat dihitung dengan metode konvensional maupun secara numerik.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Hambatan Kapal – *Froude Number*

Berdasarkan grafik hasil perhitungan perbandingan *Froude Number* dengan resistance maka dapat disimpulkan bahwa angka dengan metode *Computational fluid dynamic* yaitu 0.094 hal ini berbanding lurus dengan semakin besarnya nilai hambatan kapal tersebut. Sedangkan nilai F_n dengan metode slender body sebesar $Froude$ 0.098. Dan nilai *Froude Number* pada metode Delft Series '98 sebesar 0.113.

Perbedaan hasil perhitungan ini dikarenakan adanya perbedaan pendefinisian rumus *Froude Number*. Dimana secara umum $F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$, dimana L adalah panjang kapal (L_{pp}) sedangkan pada *Computational fluid dynamic* $F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot D}}$, dimana D adalah kedalaman fluida (depth). Sehingga hasil yang dihasilkan berbeda karena perbedaan asumsi tersebut.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan untuk analisa *Froude Number* ekonomis pada kapal wisata KM. Jasatirta di waduk Jatiluhur, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil perhitungan hambatan total kapal (R_t) pada saat kecepatan kapal 2 knots dengan menggunakan metode CFD sebesar 0,37 kN, menggunakan metode *Delft Series '98* nilai tahanan total kapal yaitu sebesar 0,14 kN sedangkan memakai perhitungan dengan metode *Slender Body* yaitu sebesar 0,04 kN dan menggunakan perhitungan secara analitik dengan metode *Millward's* sebesar 0.215 kN.
2. Angka *Froude number* (F_n) yang paling ekonomis yang ditinjau dari aspek kecepatan kapal adalah dengan metode *Computational Fluid Dynamic* nilai F_n sebesar 0.094 sedangkan memakai proyeksi perhitungan dengan fungsi kuadrat maka nilai F_n yang akurat dengan metode *Delft Series '98*.

Daftar Pustaka

1. Couser, PR, 1997. "Calm Water Powering Predictions For High-Speed Catamarans", Australia
2. Lewis, Edward.V, 1988. "Principles of Naval Architecture Second Revision" The Society of Naval Architects and Marine Engineers 601 Pavonia Avenue Jersey City, NJ
3. Sahoo.K, Prasanta ; Doctors J, Lawrence ; Pretlove, Luke. 2006 "CFD Prediction Of Wave The Resistance Of Catamaran With Staggered Demihulls", MAHY, International Conference On Marine Hydrodynamics.
4. Santoso, IGM, Sudjono, YJ, 1983, Teori Bangunan Kapal, Bagian Proyek Pengaduan Buku Kejuruan Teknologi, Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta Utama, PT. Indah Kalam Karya.
5. Siswanto, Digul, 1988, Teori Tahanan Kapal I, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi 10 November, Indonesia
6. Soekarsono, N.A. 1995. Pengantar Bangunan Kapal dan Ilmu Kemaritiman. PT. Panator Presindo, Indonesia.
7. Suroso, Agus, Bahan Ajar Mekanika Fluida dan Prinsip Hidrolika, UMB, Indonesia
8. Trimulyono, Andi, 2010. "Analisa Kinerja Turbin Dengan Blade Hlift Yang Dimodifikasi Pada Pembangkit Energi Arus Laut dengan Computational Fluid Dynamic (CFD)", Institut Teknologi 10 November, Indonesia.
9. V. Dubrousky, 2001, "Multi Hull Ships", Backtone Publishing Company, USA
10. Watson, DGM, 1998, Practical Ship Design, The Technical Publishing Company, UK.
11. Wei, Gengsheng, 2006. "An Implicit Method To Solve Problems Of Rigid Body Motion Coupled With Fluid Flow" Flow Science, Inc.
12. <http://www.flow3d.com> diakses pada tanggal 8 juli 2011. Pukul 08.45 WIB
13. <http://www.jasatirta2.co.id> diakses pada tanggal 10 Juni 2011. Pukul 07.30 WIB.
14. <http://elib.unikom.ac.id/> diakses pada tanggal 16 juni 2011. Pukul 16.25 WIB

