



Karakteristik Hidrodinamika dan Aerodinamika Pesawat WISE L8 Pada Saat Hydro Planing dan Mengudara Berdasarkan Perhitungan CFD

The Hydrodynamic and Aerodynamic Characteristics of WISE L8 During Hydro Planing and Airborne Base On CFD

Sayuti Syamsuar

Pusat Teknologi Sistem Dan Prasarana Transportasi, Kedeputan Teknologi Industri Rancang Bangun Dan Rekayasa, Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi
Email: sayutisyamsuar@yahoo.com

INFO ARTIKEL

Histori Artikel:

Diterima: 15 April 2018
Direvisi: 31 Juli 2018
Disetujui: 20 Desember 2018
Dipublikasi online: 26 Des 2018

Keywords:

3 D CATIA, $k-\epsilon$ model turbulence, Savitsky method, trim angle, hydrodynamic forces, Pilot

Kata kunci:

3D CATIA, model turbulensi $k-\epsilon$, metoda Savitsky, sudut *trim*, gaya gaya hidrodinamika, Pilot

ABSTRACT / ABSTRAK

This paper explains why the computational fluid dynamics is used on the model 3-D CATIA of Wing in Surface Effect craft WISE Lippisch configuration 8 seaters capacity for medium and high-speed conditions during hydro planing and airborne. The analysis stage on the calculation used the $k-\epsilon$ model turbulence with 1,690,862 mesh consists of 4 stages procedures that are ICEM, preprocessor, solver and convergence. On each programming stage that are gave the nominal value results. On this paper, there are showed the results of even keel and trimmed condition by using Savitsky method where the changes of trim angle τ (t) are being influence the hydrodynamic drag and total hydrodynamic force versus airspeed results. Based on this research, that propose for the Pilot using trim angle variation during takeoff procedure.

Paper ini menjelaskan mengapa diperlukan penggunaan program komputasional dinamika fluida CFD terhadap model 3-D CATIA dari pesawat WISE L8 untuk kondisi kecepatan medium dan tinggi saat *hydro planing* dan mengudara. Pada proses perhitungan yang terdiri dari 4 tahap menggunakan model turbulensi $k-\epsilon$ dengan jumlah meshing sekitar 1,690,862, seperti ICEM, *preprocessor*, *solver* dan *convergence*. Pada setiap pemograman, diperoleh hasil konvergensi yang lebih baik. Pada paper ini diperlihatkan hasil perhitungan dengan dan tanpa menggunakan metoda Savitsky, di mana perubahan sudut *trim* (τ) mempengaruhi hasil pada gaya gaya hidrodinamika versus kecepatan. Hasil penelitian ini, menjadikan pegangan Pilot untuk menggunakan perubahan sudut trim saat melakukan prosedur *takeoff*.

PENDAHULUAN

Sebagai pendahuluan, dibahas tentang analisis perilaku pesawat WISE L8 kapasitas 8 orang konfigurasi *Lippisch*, di mana komputasional dinamika fluida program CFD dilakukan pada model 3-D program CATIA untuk menghitung distribusi tekanan P di sekitar permukaan sayap utama dan badan pesawat serta di permukaan air. Perhitungan program CFD untuk mengetahui bentuk aliran udara *downwash* dan *vortex* saat pesawat WISE L8 terbang di *surface effect* dengan kecepatan V dan ketinggian terbang, h tertentu. Pesawat konfigurasi sayap tipe *Lippisch* lebih stabil statik dibandingkan sayap tipe *rectangular* saat terbang di *surface effect* (lihat Yang *et al.*, 2009). Sehingga, manfaat yang diharapkan dengan adanya bantalan udara dinamis pada bagian bawah sayap *Lippisch* akan membuat pesawat terbang meluncur menggunakan daya propulsi rendah pada ketinggian terbang tertentu dan kecepatan yang optimal sehingga hemat bahan bakar.

TINJAUAN PUSTAKA

Untuk komputasional dan simulasi, digunakan model turbulensi $k-\epsilon$ (*k-epsilon*), (lihat Menter, 1993 dan 1994). Model turbulensi $k-\epsilon$ telah divalidasi dalam sejumlah studi/riset (lihat Bardina *et al.*, 1997; Swennberg, 2000) yang dianggap sebagai model yang paling akurat untuk berbagai aplikasi aliran udara dan air. Model turbulensi $k-\epsilon$ berbasis aliran massal. Besar dan jumlah *cell* atau *grid* yang digunakan dalam perhitungan akan menentukan keakurasian hasil yang diperoleh, karena jumlah *cell* mempengaruhi perubahan bentuk geometri pada saat pemrosesan hasil. Jumlah tersebut sudah cukup memadai untuk menghindari *blockage effect* yang tidak dikehendaki, lihat Utama (2010). Kualitas atau jumlah *mesh grid* merupakan hal mendasar untuk *convergency* dan keakurasian simulasi/ komputasional dinamika fluida CFD. Jumlah elemen *mesh* yang dipilih dalam komputasi CFD telah

memenuhi memenuhi tingkat keakurasian yang cukup baik.

Perlu diketahui bahwa komputasi dan simulasi menggunakan model turbulensi $k-\epsilon$ (*k-epsilon*), karena program di *setting* menggunakan kecepatan tinggi. Pada proses pemodelan pesawat WISE L8, maka analisis CFD menggunakan bantuan program ICEM CFD, di mana CFX yang merupakan produk dari ANSYS. ICEM CFD digunakan pada tahap pembuatan geometri sampai tahap *meshing*, baik pada model pesawat WISE ataupun fluida, sedangkan pekerjaan tahap selanjutnya menggunakan CFX. Analisis CFD pada pemodelan pesawat WISE L8, adalah pemodelan aliran dan perhitungan besaran gaya hambat pada sayap, lambung pesawat dan visualisasi aliran fluida pada permukaan air. Program CFD terdiri dari 3 tahap, yaitu: *pre-processor*, *flow solver (solution)* dan *post-processor*.

METODOLOGI

Pemodelan dan *meshing* pada *Ansys design model* (ICEM) pada pesawat WISE L8 secara numerik (CFX) dimulai dengan *preprocessing* yang meliputi inialisasi kondisi batas, pemilihan model, pemilihan jenis fluida dan struktur. Langkah berikut, adalah tahap pemilihan *solver*. Hasil simulasi numerik ini adalah perolehan gaya hambat pada lambung pesawat WISE L8 dan fenomena interferensi hambatan dengan mengetahui kecepatan aliran disekitar lambung dan perubahan tekanan diantara lambung dengan variasi jarak antara lambung (S/L).

HASIL DAN PEMBAHASAN

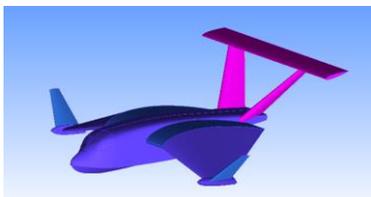
Tahap ICEM

ICEM merupakan penggambaran geometri model, yaitu kumpulan *point* yang membentuk *curve* dan membentuk *surface*, kemudian proses *meshing*, CFX *preprocessor* (CFX *build*): awal pemograman terdiri dari input (masalah aliran fluida) untuk CFD melalui *interface*. Input meliputi geometri benda, membentuk *grid generation*, penentuan sifat-sifat fluida seperti densitas, viskositas, temperatur fluida. Kemudian

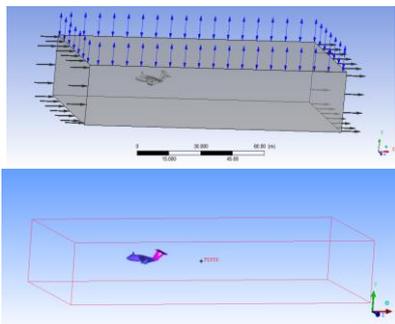
analisis masalah aliran fluida, kecepatan, tekanan didefinisikan sebagai suatu daerah yang berupa simpul-simpul setiap *cell*. Jumlah *cell* dalam *grid (mesh)* menentukan akurasi penyelesaian komputasional dinamika fluida, CFD.

Tahap Preprocessor

Pada tahap pertama, langkah yang dilakukan adalah pembuatan geometri. Dalam proses pembuatan geometri dilakukan dengan menggunakan ANSYS ICEM CFD. Model 3-D yang dibuat pada program CATIA diekspor dalam bentuk ekstensi *iges (.iges)*. Cara ini memudahkan dalam pembuatan geometri. Model awal dari pesawat WISE L8 telah terbentuk dari model dasar yang didefinisikan sebagai permukaan/*surface* pada model pesawat WISE L8. Pada tahap ini, pembuatan *surface* untuk semua bagian pesawat WISE L8 yang telah tertutup berupa *surface*. Perhatikan Gambar 1 sebagai pembuatan *surface model*. Gambar 2 merupakan domain fluida yang menggambarkan simulasi dalam *towing tank*.



Gambar 1 Pembuatan *surface model* pada pesawat WISE L8

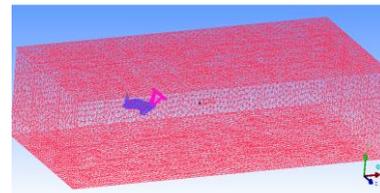


Gambar 2 Domain fluida.

Tahap Meshing

Pada bagian awal, dilakukan *meshing* pada model pesawat WISE L8 dan fluida terlebih dahulu, kemudian tentukan ukuran elemen yang digunakan. Tapi, perlu diingat

bahwa semakin kecil elemen yang dibuat, maka jumlah elemen yang terbentuk semakin banyak, sehingga waktu *running* akan semakin lama dan menghasilkan kapasitas *file* yang besar. Untuk model pesawat WISE L8 yang dibuat pada program ini, dilakukan *meshing* dengan model *meshing tetrahedral*. Ukuran *meshing* diperlihatkan pada Gambar 3.



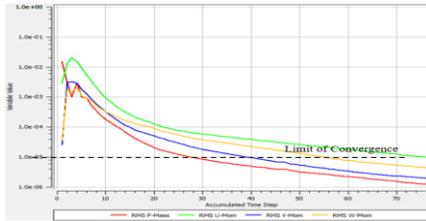
Gambar 3 Proses *meshing* pesawat WISE L8

Tahap Solver

Penyelesaian perhitungan: metode numerik *solver* terdiri dari perkiraan variabel yang tidak diketahui menggunakan fungsi sederhana, diskretisasi dengan substitusi perkiraan tersebut dengan persamaan aliran. *Post processor* yang ditampilkan pada hasil perhitungan tahap sebelumnya, hasil perhitungan data numerik dan data visual aliran fluida pada model. Pada proses validasi, ada beberapa parameter penting yang dipertimbangkan, yaitu *grid (mesh)*, *convergence* dan hasil eksperimen.

Tahap Convergence

Proses iterasi perhitungan akan selalu dikontrol oleh persamaan pengendali. Jika hasil perhitungan belum sesuai dengan tingkat kesalahan yang ditentukan, maka proses komputasional terus berjalan. Tahap ini, proses iterasi perhitungan akan selalu dikontrol dengan persamaan pengendali. Jika hasil perhitungan belum sesuai dengan tingkat kesalahan yang ditentukan, maka komputasi akan terus berjalan. Berikut beberapa grafik RMS yang menunjukkan konvergensi proses iterasi, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.



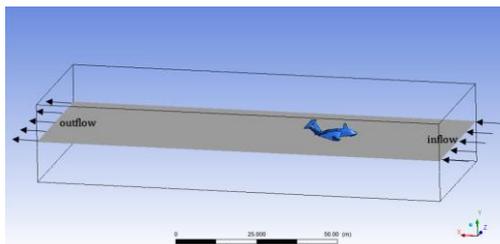
Gambar 4. Konvergensi dan proses iterasi pada CFD

Kriteria *root-mean square* (RMS) yang digunakan untuk mengecek konvergensi simulasi free surface adalah dengan *residual target value (variable value)* mencapai 10^{-5} . Target kriteria (*variable value*) ini banyak diaplikasikan pada komputasi *engineering*, sebagaimana yang direkomendasikan dalam ANSYS ICEM manual.

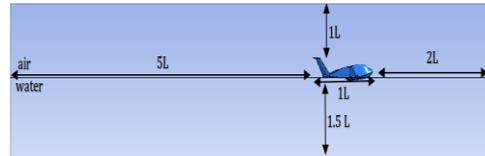
Tahap *Grid Independence*

Besarnya jumlah *cell* atau *grid* yang digunakan dalam perhitungan akan menentukan keakuratan hasil yang diperoleh karena jumlah *cell* mempengaruhi perubahan bentuk geometri pada saat pemrosesan dan hasil.

Pada Gambar 5 dan Gambar 6 diperlihatkan pengaturan arah fluida dan *initial computational domain* sebagai batas *boudary* di bagian depan lambung berjarak hingga 2 panjang model lambung, di bagian belakang lambung berjarak 5 kali panjang lambung. Kemudian ke samping berjarak 1.5 kali panjang model, dan jarak di atas 1 kali panjang model serta di bawah 1.5 kali panjang model lambung. Jarak tersebut sudah cukup memadai untuk menghindari *blockage effect*. Komputasi untuk *mesh* digunakan (*multiphase flow calculations*) terdiri dari 1,690,862 *mesh elements* pada pesawat WISE L8.



Gambar 5. Pengaturan arah fluida.



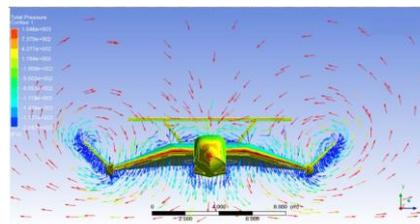
Gambar 6. Domain komputasi awal pada CFD.

Post Processor

Untuk proses validasi, maka data visual yang diambil pada *post* adalah visualisasi distribusi tekanan *P* di sekitar sayap dan permukaan air yang diambil dari *function calculator*. Dalam tahap ini, diperoleh nilai distribusi tekanan *P* yang menjadi input proses selanjutnya. Demikian juga dalam penentuan kecepatan aliran udara di sekitar sayap dan badan pesawat, seperti penggambaran *velocity streamline*. Pada tahapan ini dilakukan interpretasi dari data hasil simulasi dari berbagai proses yang telah dilakukan, seperti pembuatan grafik X-Y, kontur atau permukaan, vektor kecepatan dan lain lain.

Terjadinya *vortex* dan *downwash*

Berdasarkan tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini, maka perhatikan Gambar 7 yang merupakan fenomena terjadinya peristiwa *surface effect* yaitu akibat adanya *downwash* dan *vortex* pada pesawat WISE L8 menghasilkan bantalan udara dinamis antara sayap utama bagian bawah dengan permukaan air. Peristiwa *vortex* ditandai oleh terjadinya ulakan udara ke atas dan bawah sayap utama pesawat WISE L8 yang cukup besar dengan putaran berbentuk lingkaran secara berulang kali berakhir pada ujung luar sayap. Aliran tersebut terus berputar ke udara bebas dan menghantam permukaan air yang disebut *downwash*.



Gambar 7. Terjadinya *vortex* dan *downwash*.

Tekanan udara yang melingkar tersebut dapat mencapai $P = 1,046$ Pa. Pada bagian bawah sayap utama dan *winglet*, terjadi

tekanan udara yang sangat rendah mencapai $P = -2,047$ Pa. Perbedaan tekanan udara ΔP yang sangat besar inilah yang menimbulkan perbedaan gaya angkat aerodinamika ΔL_{aero} setiap saat, sehingga pesawat WISE L8 terbang meluncur di atas permukaan air memanfaatkan perbedaan tekanan udara yang terjadi pada bagian permukaan atas dan bawah sayap utama menghasilkan bantalan udara dinamis pada fenomena *surface effect*.

Fase Hydro Planing Dan Mengudara

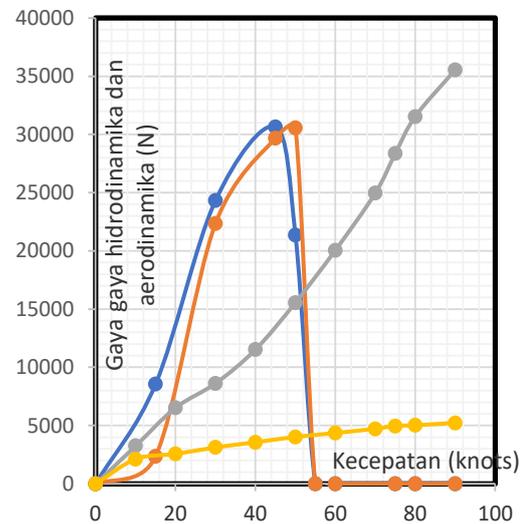
Pada tahap *CFX post* atau analisis, perubahan gaya hambat hidrodinamika ΔD_{hidro} dilakukan melalui analisis gaya hambat hidrodinamika D_{hidro} di tiap tiap kecepatan V pada masing masing sarat T dengan memasukkan nilai *displacement* melalui program Maxsurf. *Displacement* di setiap kecepatan V yang di peroleh berdasarkan nilai *displacement* pada sarat T kondisi penuh dikurangi dengan *displacement* dari gaya angkat total hidrodinamika L_{total} saat itu pada masing masing sarat T . Sarat T diperoleh dari selisih *displacement* sarat T penuh dengan *displacement* pada masing-masing kecepatan V saat itu. Hal ini sebagai akibat adanya gaya angkat total hidrodinamika L_{total} . Sehingga, data input untuk perhitungan gaya hambat hidrodinamika D_{hidro} adalah pada masing masing sarat T .

Pada Gambar 8, merupakan hasil komputasional program CFD sebagai kurva gaya hambat hidrodinamika D_{hidro} dan gaya angkat total L_{total} hidrodinamika, gaya angkat aerodinamika L_{aero} dan gaya hambat aerodinamika D_{aero} versus kecepatan V dari pesawat WISE L8 pada kondisi *hydro planing*. Pada kecepatan $V = 30.0$ knots sampai dengan $V = 80.0$ knots adalah nilai gaya angkat total L_{total} hidrodinamika dan gaya angkat aerodinamika L_{aero} yang saling berinteraksi mengangkat pesawat WISE L8 ke maksimum ke minimum naik turun merupakan kejadian efek *porpoising*. Pada kecepatan $V = 80.0$ knots, pesawat WISE L8 sudah berhasil mengudara, gaya angkat

aerodinamika L_{aero} sudah berhasil mengimbangi gaya berat pesawat WISE L8.

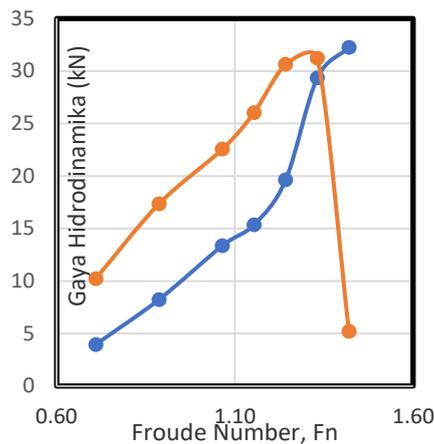
Tabel 1. Hasil perhitungan gaya angkat total L_{total} dan gaya hambat hidrodinamika D_{hidro} dari lambung dengan sudut *trim* $\tau(t) = 0^\circ$ (*even keel*) pada pesawat WISE L8 dengan sarat tertentu saat *hydro planing*.

Kecepatan V	Froude Nr.	Sarat (m)	Gaya Hambat Hidro	Gaya Angkat Total Hidro
(knots)	Fr	T	(N)	(N)
0.0	0.0	0.64	0.0	0.0
15.0	0.67	0.55	8,566	2,356.0
30.0	1.33	0.44	24,332	22,365.3
45.0	2.00	0.32	30,659.2	29,698.3
50.0	2.22	0.1	21,365	30,568.4



Gambar 8. Gaya gaya saat *hydro planing* dan mengudara dengan sudut *trim* $(\tau) = 0^\circ$.

Pesawat WISE pada kondisi *hydro planing* mengalami perubahan sudut *trim* $\tau(t)$ di mana bagian haluan akan terangkat, seperti menurut metoda Savitsky pada *planing hull*. Perubahan sudut *trim* $\tau(t)$ berdasarkan kecepatan pesawat WISE yang telah dilakukan pada pengujian model 3-D di *towing tank* oleh Iskendar (2011). Berdasarkan penelitian tersebut, maka dilakukan perhitungan numerik komputasional dinamika fluida program CFD untuk memperoleh gaya angkat total L_{total} dan gaya hambat hidrodinamika D_{hidro} . untuk berbagai sarat dan kecepatan, digambarkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Gaya gaya saat *hydro planing* menurut metoda Savitsky.

KESIMPULAN

Dalam melakukan prosedur komputasional menggunakan CFD untuk melihat perilaku pesawat WISE L8 dan mengevaluasi pergerakan saat *hydro planing* dan mengudara. Beberapa hal yang perlu menjadi perhatian, adalah perhitungan metoda komputasional CFD berdasarkan model turbulensi $k-\epsilon$ dengan menggunakan meshing yang cukup besar, sekitar 1,690,862. Pada tahap ini, perhitungan dimisalkan sebagai *mono hull*. Dan, tidak memperhatikan posisi *step* di lambung, pemahaman tentang metoda Savitsky bahwa saat *hydro planing*, bahwa terjadi perubahan sudut *trim* (τ) sesuai dengan luas permukaan basah dan sarat yang terjadi pada setiap kecepatan V , sehingga menghasilkan gaya gaya yang berbeda apabila tidak terjadi perubahan sudut *trim* (τ) dan pendalaman terhadap metoda komputasional dinamika fluida CFD terhadap *high speed craft* memberikan nilai tambah yang besar di kemudian hari, sehingga biaya uji model di *towing tank* yang cukup besar dapat dikurangi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bate, J. (1994), Performance Analysis And Prediction Of High Speed Planing Craft, *Dissertation*, University of Plymouth, USA
- Collu, M., M. H. Patel, and F. Trarieux. (2007), *A Unified Mathematical Model for High Speed Hybrid (Air and Water borne) Vehicles*, Cranfield University, United Kingdom

Radojic, D. (1985), An Approximate Method For Calculation Of Resistance And Trim Of Planing Hulls, *Ship Science Report No. 23*, University of Southampton, UK

Hassan, M. Y. (2012), Adaptive Control for the 4 th. Class of Control Engineering in the Control and Systems Engineering, Department at the University of Technology CCE CN445

Iskendar. (2011), *Kajian Aspek Hidro-Aerodinamika dan Gerakan Fase Pra Take Off Pada Kapal Bersayap*, Program Doktor, Studi Teknologi Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Khoo, B.C and Koe, H.B. (2016), The Hydrodynamics of WIG craft, *National University of Singapore*, Singapore

Muhammad, H. (2003), Perancangan Sistem Kendali Otomatik Longitudinal Kapal Bersayap Wing In Surface Effect, Studi Kasus Kapal bersayap: NWIG10B-Wing 01, Departemen Teknik {enerbangan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung

Priyanto, A., Maimun, A., Noverdo, S., Saeed, J., Faizal, A. and Waqiyuddin, M. (2012), A Study On Estimation Of Propulsive Power For Wing In Ground Effect Craft (WIG) To Take Off, Department of Marine Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, *Jurnal Teknologi UTM, eISSN 2180 3172*, Johor Bahru, Malaysia

Stewart, L., and D. G. Koenig. (1966), *Flight Measured Ground Effect on a Low Aspect Ratio OGEE Wing Including a Comparison with Wind Tunnel Results*, NASA Technical Note D-3431, Ames Research Center, Moffet Field, California

Taylor, G. (2003), Re-defining Sea Level: The Hoverwing Wing In Ground Effect Vehicle, Fischer Flugmechanik/AFD Airfoil Development GmbH, Germany, Paper for the Hovercraft Society, Air Cushion Technology Conference & Exhibition, England

Utama, I.K.A.P. and Hantoro, R. (2010),

Computational Fluid Dynamics (CFD) Dengan Ansys CFX, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (unpublished).

Wang, H., Teo, C. J., Khoo, B. C. and Goh, C. J. (2013), Computational Aerodynamics and Flight Stability of Wing In Ground (WIG) Craft, *7 th. Asian Pacific Conference of Aerospace Technology and Science, APCATS*, Elsevier, Procedia Engineering 67 (2013) 15-24

Yang, Z., Wei, Y. and Yulong, L. (2009), Analysis of Two Configurations for a Commercial WIG Craft Based on CFD, 27 th. AIAA Applied Aerodynamic Conference, San Antonio, Texas, USA.

Zong, Z., Liang, H. and Zhou, L. (2012), Lifting Line Theory For Wing In Ground Effect in Proximity To A Free Surface, *J. Eng. Math.*, Springer, Republic of China

