

Teknik Pilot dalam Hal Mengendalikan Pesawat Wing in Surface Effect Saat Bergerak Selama Fase Hydro Planing dan Mengudara

The Pilot Technique in Terms of Wing in Surface Effect Craft Stabilization During Hydro Planing and Airborne Phase

Sayuti Syamsuar¹⁾, Eko B Djatmiko²⁾, Erwandi³⁾, Subchan⁴⁾

¹⁾ Pusat Teknologi Sistem dan Prasarana Transportasi, Kedeputan Teknologi Industri Rancang Bangun dan Rekayasa, Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi

²⁾ Bidang Offshore Hydrodynamics, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

³⁾ Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim, Kedeputan Teknologi Industri Rancang Bangun Dan Rekayasa, Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi, Surabaya

⁴⁾ Jurusan Matematika, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan

e-mail: sayutisyamsuar@yahoo.com

INFO ARTIKEL

Histori Artikel:

Diterima: 25 Juni 2018

Direvisi: 26 Desember 2018

Disetujui: 27 Desember 2018

Dipublikasi online: 17 Jan 2019

Keywords:

performance requirement, state stability, nose pitching up, stationer level flight

Kata kunci:

Persyaratan prestasi terbang, kondisi stabil, hidung mendongak ke atas, terbang mendarat stasioner

Permalink/DOI:

<https://dx.doi.org/10.25104/wa.v44i2.331.93-98>

©2018 Puslitbang Transportasi Udara, Badanlitbang Perhubungan-Kementerian Perhubungan RI. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

ABSTRACT / ABSTRAK

In association with the stability and control of WISE L8 craft, it is needed to define that the craft has fulfilled certain flight performance requirements so that it could take off from the water surface. This paper provides the Matlab calculation on the state stability of hydrodynamic and aerodynamic forces and moments acting on the body axes X_b , Z_b during hydro planing and airborne phase. The proportional propulsion force is very decisive in maintaining the craft in the stable conditions so that the nose pitching up are not happened when it lifts off of the water. These conditions are called the flight criteria that needed for the craft flown on the stationer flight level in surface effect altitude. There are several parameters as the function of time in which the mathematical modelling is taken over by pilot technique and showed as discontinue curves. The hydrodynamic and aerodynamic parameters are used to make the craft trajectory based on references.

Sehubungan dengan kestabilan dan pengendalian dari pesawat WISE L8, maka perlu didefinisikan bahwa wahana terbang tersebut sudah memenuhi beberapa persyaratan prestasi terbang agar dapat kontiniu *take off* dari permukaan air. Pada *paper* ini diperlihatkan hasil perhitungan dengan penggunaan program Matlab terhadap keseimbangan gaya gaya dan momen momen hidrodinamika dan aerodinamika yang bekerja pada tata acuan koordinat sumbu benda X_b , Z_b di *fase hydro planing* dan mengudara. Besarnya gaya propulsi yang seimbang sangat menentukan agar wahana terbang dalam kondisi stabil, sehingga hidung tidak mendongak ke atas saat *lift off* dari permukaan air. Hal ini merupakan salah satu kriteria terbang yang dibutuhkan agar Pesawat WISE L8 selalu berada pada ketinggian terbang *stationer surface effect*.

Pada *paper* ini, ditampilkan kurva beberapa parameter sebagai fungsi waktu, di mana pemodelan matematika diambil alih oleh teknik Pilot dan diperlihatkan sebagai kurva diskontiniu. Data parameter hidrodinamika dan aerodinamika diperlukan untuk membuat lintasan terbang pesawat WISE L8 berdasarkan referensi.

PENDAHULUAN

Pergerakan Pesawat WISE L8 merupakan perwujudan dari distribusi gaya-gaya yang bekerja pada tata acuan koordinat sumbu benda X_{benda} sepanjang fase *high speed water run*, *hydro planing* dan mengudara sesuai dengan gaya propulsi dinamik T_d yang diberikan dari sistem daya propulsi EHP setiap saat, sehingga menghasilkan perubahan kecepatan V sesuai dengan perubahan waktu t . Pada awal fase *hydro planing*, maka pertumbuhan gaya-gaya hidrodinamika dan aerodinamika dinominasi oleh gaya hambat D_{hidro} dan gaya angkat total hidrodinamika L_{hidro} yang ditimbulkan oleh lambung wahana terbang terhadap air, lihat (Bate, 1994). Pada waktu awal yang sama, dapat dilihat bahwa nilai daya propulsi EHP menghasilkan gaya propulsi T_d berimbang dengan gaya hambat hidrodinamika D_{hidro} pada arah sumbu X_{benda} . Pada saat lift off terjadi pengurangan daya propulsi EHP yang berbanding lurus dengan gaya propulsi T_d . Gaya hambat D_{aero} dan gaya angkat aerodinamika L_{aero} dari sayap akan timbul beberapa saat sebelum lift off dan semakin besar ketika wahana terbang mengudara dan konstan pada saat terbang mendarat di ketinggian *surface effect*. Pada kasus ini, perlu penempatan titik pusat gravitasi CG pada posisi *most forward CG* agar wahana terbang selalu berada pada kondisi terbang mendarat yang stabil tanpa mengalami *nose pitch up* (hidung wahana terbang mendongak ke atas) sebagai kondisi yang sangat berbahaya, lihat Caughey (2011).

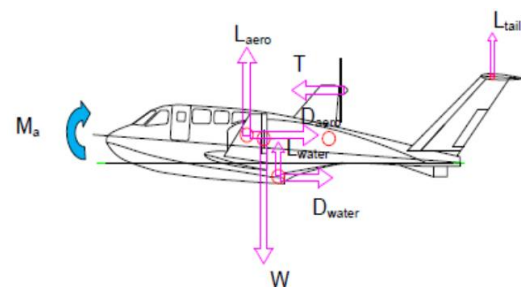
Pada program Matlab, diperlukan pengendalian defleksi elevator δ_e yang masih cukup efektif untuk mengendalikan keseimbangan gaya-gaya yang bekerja pada pesawat WISE L8 saat *hydro planing* dan mengudara, sehingga tidak diperlukan tambahan luas permukaan atur di badan wahana terbang. Perubahan daya propulsi EHP tidak diperlukan, karena pada kecepatan tinggi menghasilkan gaya angkat aerodinamika sudah cukup besar untuk mengimbangi gaya berat W , lihat Kaviyarasu dan Senthil (2014).

Pertumbuhan gaya-gaya hidrodinamika, gaya-gaya aerodinamika dan gaya propulsi sebagai fungsi dari waktu t mulai dari fase *high speed water run*, *hydro planing* dan mengudara sampai dengan ketinggian *surface effect* dianalisis sesuai dengan persamaan keseimbangan gaya dan momen yang diselesaikan dengan program Matlab, lihat Zong dan Zhou (2012).

TINJAUAN PUSTAKA

Parameter *non-dimensional* dari turunan aerodinamika dapat dihitung melalui persamaan gaya-gaya dan momen aerodinamika menghasilkan persamaan matriks ruang keadaan pada tata acuan koordinat sumbu benda X_{benda} Y_{benda} Z_{benda} untuk gerak wahana terbang matra longitudinal. Menurut Jenie dan Wiriadidjaja (2006), representasi gaya-gaya dan momen-momen yang bekerja pada titik pusat gravitasi CG dari sistem konvensi dan tata acuan koordinat sumbu X_{benda} Y_{benda} Z_{benda} pada pesawat WISE merupakan penurunan persamaan gerak 6 derajat kebebasan yang terdiri dari 3 persamaan gaya dan 3 persamaan momen sebagai persamaan *Six Degree of Freedom*.

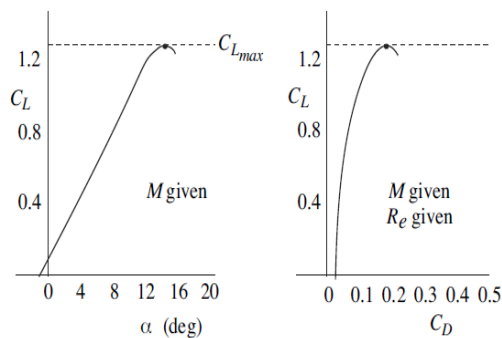
Gaya dan momen aerodinamika-hidrodinamika yang bekerja pada satu titik pusat gravitasi CG di tata acuan koordinat sumbu benda X_{benda} Y_{benda} Z_{benda} merupakan representasi gaya dan momen yang bekerja pada badan dan luas total permukaan sayap utama dari wahana terbang saat *hydro planing* yang diuraikan dalam bentuk persamaan gerak matra *longitudinal* secara simbolik diperlihatkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Letak titik tangkap gaya dan momen hidrodinamika dan aerodinamika.

Pertumbuhan gaya hidrodinamika, aerodinamika dan propulsi dari pesawat WISE dibahas dengan persamaan keseimbangan gaya-gaya yang bekerja pada sumbu benda wahana terbang mulai *fase high speed water run, hydro planing* dan mengudara. Piranti lunak yang digunakan berikut ini melalui program Matlab.

Pada Gambar 2 adalah kurva *drag polar* pada suatu sayap wahana terbang ketika mengudara sebagai karakteristik aerodinamika saat mengudara dan terbang mendarat. Semua wahana terbang memiliki masing-masing karakteristik aerodinamika seperti ini.



Gambar 2. Contoh kurva drag polar (Hull, 2007).

Persamaan Dinamika Terbang

Persamaan gerak wahana terbang berdasarkan persamaan keseimbangan gaya dan momen propulsi, gravitasi, aerodinamika dan hidrodinamika sesuai dengan persamaan *Six Degree of Freedom*.

$$m \frac{dV}{dt} = F_{prop_x} + F_{grav_x} + F_{aero_x} + F_{hidro_x}$$

$$m \frac{dw}{dt} = F_{prop_z} + F_{grav_z} + F_{aero_z} + F_{hidro_z}$$

$$I_{yy} \frac{dq}{dt} = M_{prop} + M_{aero} + M_{hidro} \quad (2.1)$$

Persamaan Umum Kinematika

Persamaan umum kinematika wahana terbang yang disebabkan oleh kecepatan V diuraikan sebagai berikut:

$$\frac{dh}{dt} = w$$

$$\frac{dx}{dt} = V$$

$$\frac{d\theta}{dt} = q \quad (2.2)$$

di mana,

$$M = W / g$$

$$\theta = \alpha + \gamma$$

W : berat wahana terbang

α : sudut serang

g : percepatan gravitasi

γ : sudut lintasan terbang

Gaya Dan Momen Propulsi

Propulsi memberikan gaya propulsi T_d yang sejajar dengan sumbu putar *propeller*. Jika sudut pasang mesin terhadap terhadap sumbu benda X_{benda} adalah ϵ , maka gaya dan momen propulsi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$F_{prop_x} = T \cos (\epsilon + \alpha)$$

$$F_{prop_z} = T \sin (\epsilon + \alpha)$$

$$M_{prop} = -T z_T \quad (2.3)$$

di mana;

z_T adalah jarak tegak lurus garis kerja gaya dorong T terhadap titik berat wahana terbang. Tanda (-) menunjukkan momen *pitch* ini memutar bidang wahana terbang ke bawah (*pitch down moment*).

Gaya propulsi dinamik T_d diberikan sebagai fungsi dari kecepatan V ke depan dan *setting* daya π dari *throttle* mesin dan tinggi terbang h . Sehingga, hubungan tersebut persamaan dapat ditulis:

$$T = T(V, \pi, h) \quad (2.4)$$

Gaya Gravitasi

Uraian gaya gravitasi pada tata acuan koordinat sumbu sumbu aerodinamika X_a dan Z_a seperti berikut:

$$F_{grav_x} = -W \sin \gamma$$

$$F_{grav_z} = +W \cos \gamma \quad (2.5)$$

Dalam hal ini γ adalah sudut lintas terbang, sudut yang dibentuk vektor kecepatan V ke depan dengan bidang horizon lokal. Percepatan gravitasi g memberikan gaya gravitasi W yang tegak lurus bidang horizon lokal.

Perhitungan Gaya Dan Momen Aerodinamika

Pergerakan wahana terbang di medan udara akan membangkitkan gaya dan momen aerodinamika. Dalam hal ini gaya angkat aerodinamika L_{aero} akan searah dengan sumbu Z_w negatif dan gaya hambat aerodinamika D_{aero} akan searah dengan X_w negatif. Momen *pitch* aerodinamika M_{aero} mempunyai poros putar terhadap titik pusat aerodinamika a.c., yang sejajar dengan sumbu y_w . Maka, gaya dan momen aerodinamika dapat ditulis:

$$\begin{aligned} F_{aero_x} &= -D_{aero} \\ F_{aero_z} &= -L_{aero} \\ M_{aero} &= M_{aero} - l_{aero} L_{aero} \end{aligned} \quad (2.6)$$

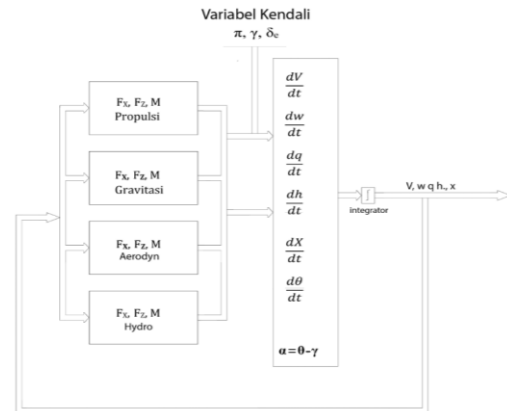
Dalam hal ini, l_{aero} adalah jarak sepanjang sumbu X_w antara titik berat CG dengan titik pusat aerodinamika a.c. Gaya dan momen aerodinamika dapat dinyatakan sebagai fungsi dari kecepatan V , tinggi terbang h dalam efek permukaan, sudut serang α , *pitch rate* q dan defleksi *elevator* δ_e sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_D &= C_D(\alpha, h, \delta_e) \\ C_L &= C_L(\alpha, q, h, \delta_e) \\ C_m &= C_m(q, h, \delta_e) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Persamaan ini ditampilkan dalam bentuk grafik hasil perhitungan program DATCOM terhadap airfoil *Clark Y* konfigurasi sayap 2-D dari pesawat WISE L8 berkapasitas 8 orang.

METODOLOGI

Pada Gambar 3 merupakan diagram alir pertumbuhan gaya-gaya saat *high speed water run*, *hydro planing* dan mengudara pada model pesawat WISE L8 berkapasitas 8 orang.

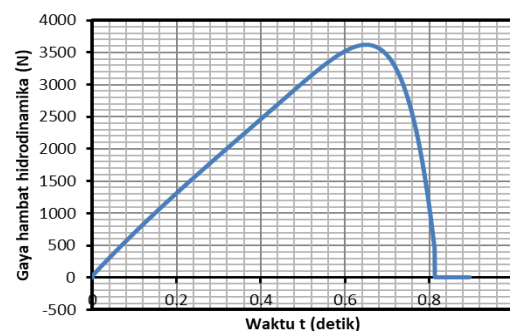


Gambar 3. Diagram alir dari pertumbuhan gaya-gaya dan momen-momen hidro dan aerodinamika (Jenie dan Wiriadidjaja, 2006).

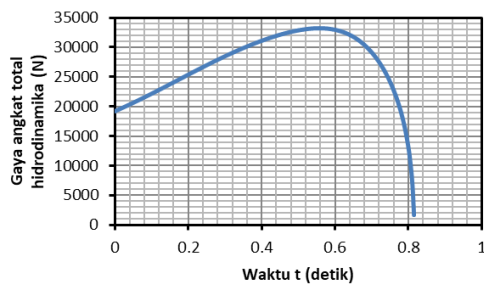
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gaya Gaya Hasil Komputasional Matlab

Perhitungan gaya hambat hidrodinamika D_{hidro} versus waktu t hasil perhitungan program Matlab menggunakan persamaan keseimbangan gaya-gaya fase *high speed water run*, *hydro planing* dan mengudara di ketinggian *surface effect*. Data koefisien hidrodinamika, seperti C_{L0} , $C_{L\beta}$ dan λ adalah dengan menggunakan data dari metoda Savitsky, lihat Jenie dan Wiriadidjaja (2006). Pertumbuhan gaya-gaya hidrodinamika, aerodinamika dan propulsi menghasilkan Gambar 4 dan Gambar 5.

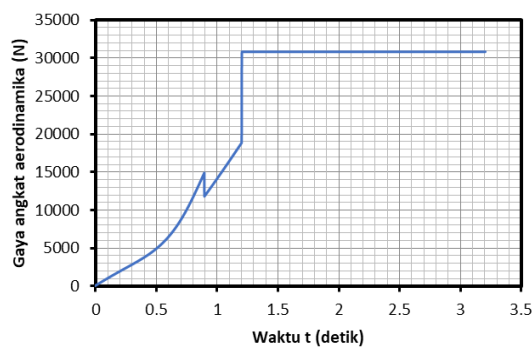


Gambar 4. Kurva gaya hambat hidrodinamika D_{hidro} versus waktu t pada pesawat WISE L8 berkapasitas 8 Orang pada kondisi *hydro planing*.



Gambar 5. Kurva gaya angkat total hidrodinamika L_{hidro} versus waktu t pada pergerakan pesawat WISE L8 berkapasitas 8 Orang fase take off.

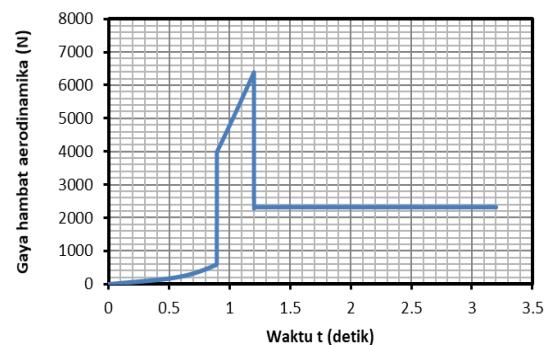
Perhitungan gaya aerodinamika dan gaya hidrodinamika menggunakan persamaan keseimbangan, lihat Jenie dan Wiriadidjaja (2006). Hal ini merupakan akumulasi gaya angkat L_{aero} , gaya berat W , gaya hambat aerodinamika D_{aero} , gaya hambat hidrodinamika D_{hidro} dan gaya propulsi dinamik T_d saat *high speed water run*, *hydro planing* dan mengudara dihitung pada program Matlab. Pada Gambar 6, terlihat bahwa Pesawat WISE L8 mulai *lift off* pada waktu $t = 1.2$ detik, mencapai gaya angkat aerodinamika secara bertahap sebesar $L_{aero} = 32,000$ N.



Gambar 6. Kurva gaya angkat aerodinamika L_{aero} versus waktu t sebagai pergerakan pesawat WISE L8 berkapasitas 8 Orang fase take off.

Setelah kondisi *lift off* tercapai yang diinginkan oleh pesawat WISE L8 adalah mencapai kondisi stasioner terbang jelajah dalam pengaruh efek permukaan. Akibat adanya gangguan kecil dari pengaruh luar, maka sudut *pitch* θ dapat berubah ubah, tetapi masih dalam batas yang diperbolehkan sesuai dengan kondisi stasioner yang telah didefinisikan sebelumnya. Pengendalian

dengan defleksi *elevator*, δ_e diperlukan agar wahana terbang berada tetap pada kondisi terbang jelajah stasioner. Simpangan simpangan variabel gerak yang kecil perlu ditiadakan melalui strategi kendali umpan balik yang tepat. Pada Gambar 7, terlihat bahwa pengaturan sudut serang α oleh Pilot menyebabkan adanya pengendalian terhadap gaya hambat aerodinamika D_{aero} yang sebelumnya saat *lift off* sebesar 6,200 N turun menjadi 2,200 N. Hal ini identik dengan perubahan sudut *pitch* θ .



Gambar 7. Kurva gaya hambat aerodinamika versus waktu t sebagai pergerakan pesawat WISE L8 berkapasitas 8 Orang fase take off.

KESIMPULAN

Paper ini telah berhasil membahas tentang perilaku pesawat WISE L8 dan mengevaluasi pergerakan saat *hydro planing* dan mengudara dengan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Daya propulsi *EHP* dari hasil perhitungan program Matlab, adalah untuk menjaga gaya propulsi dinamik T_d tetap sebesar 32,000 N sehingga memenuhi kondisi terbang mendarat stasioner. Perlu *setting* putaran *propeller* dan perubahan sudut serang α antara $(6.2^\circ - 10^\circ)$ agar kondisi terbang mendarat stasioner terpenuhi sesudah *lift off*. Sehingga, saat mengudara berlaku besarnya gaya propulsi dinamik T_d sama dengan gaya hambat aerodinamika D_{aero} dan gaya angkat aerodinamika L_{aero} sama dengan gaya berat W dari model pesawat WISE L8.
- Pertumbuhan gaya saat pergerakan pesawat WISE L8 saat fase *high speed*

water run, hydro planing dan mengudara dianalisis menggunakan program Matlab. Hasil yang diperoleh dalam bentuk distribusi gaya gaya aerodinamika, gaya propulsi, gaya gaya hidrodinamika, jarak *take off* dan kecepatan V sebagai fungsi waktu t . Pada kasus ini, diasumsikan bahwa letak titik pusat gravitasi CG berada di depan batas limitasi yang diperbolehkan sebagai *most forward CG*, sehingga gerak wahana terbang dapat mengarah ke *nose pitch down*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bate, J. (1994), Performance Analysis and Prediction Of High Speed Planing Craft, *Dissertation*, University of Plymouth, USA
- Caughey, D.A. (2011), *Introduction to Aircraft Stability and Control Course Notes for M & AE 5070*, Sibley School of Mechanical & Aerospace Engineering Cornell University.
- 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
- 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.
- Kaviyarasu, A. and Senthil, K.K. (2014), Simulation of Flapping-Wing Unmanned Aerial Vehicle Using X-Plane and Matlab, *Defence Science Journal*, Vol. 64, No. 4, July 2014, pp. 327-331, DOI : 10.14429/dsj.64.4933, DESIDOC.
- Khoo, B.C and Koe, H.B., (2016), The Hydrodynamics of WIG craft, *National University of Singapore*, Singapore
- Muhammad, H. (2005b), Laporan Akhir, Desain Konfigurasi, Preliminary Design, Part I-A: Kapal Bersayap 8 Design Requirements and Objectives, LPPM-ITB.
- 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
- 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
- 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