

METODE ESTIMASI JARAK *GROUND-RUN* UAV DENGAN MENGGUNAKAN DATA GPS

ESTIMATING GROUND-RUN DISTANCE OF UAV BY APPLYING GPS DATA

Agitta Rianaris dan Jemie Muliadi
TIRBR - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
agitta.rianaris@bppt.go.id

Abstrak

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) merupakan pesawat udara tanpa awak yang dikendalikan dari jarak jauh dengan menggunakan *radio control* atau sistem autopilot yang mampu menerbangkan pesawat secara otomatis. Suatu UAV dinilai memiliki prestasi terbang yang baik jika memenuhi spesifikasi yang ditentukan oleh penggunaannya. Salah satunya adalah kemampuan untuk *take-off* dan *landing* di landasan pendek. Semakin pendek jarak *take-off* dan *landing* suatu UAV, maka semakin efektif dan efisien UAV tersebut dari segi ekonomi dan operasional. Proses *take-off* terbagi menjadi dua fase yaitu fase *ground-run* dan fase *airborne*. *Ground-run* merupakan bagian dari fase *take-off* pada UAV dimana posisi UAV masih berada dalam landasan pacu saat pesawat bergerak dari $V=0$ hingga mencapai V_r (*rotation speed*) untuk melakukan gerakan *pitch-up*. Beberapa metode yang digunakan untuk menentukan estimasi jarak *ground-run* antara lain dengan observasi menggunakan penandaan pada *runway*, perhitungan awal sebelum terbang, menggunakan rekaman konvensional dan *differential GPS*. Metode penentuan jarak *ground-run* dengan penggunaan rumus standard melibatkan operasi matematika yang kompleks dan membutuhkan parameter ukur yang sangat akurat. Dalam kajian ini penentuan jarak *ground-run* dilakukan dengan menggunakan titik koordinat longitudinal dan latitude saat UAV dalam posisi $V=0$ hingga mencapai V_r . Sistem koordinat diperoleh dari data hasil uji terbang UAV. Hasil kajian perhitungan jarak *ground-run* dari selisih koordinat kemudian di konversikan dalam satuan meter. Dari penggunaan metode estimasi jarak *ground-run* tersebut diperoleh hasil yang akurat dengan waktu perhitungan lebih cepat, sederhana, dan praktis.

Kata kunci: *ground-run distance*, UAV, GPS.

Abstract

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) is an aircraft with no human on board which remotely controlled or able to fly automatically by the aid of autopilot system. The optimum flight performance considered as one of user requirements. The shorter take-off or landing distance become preferable feature required by the user. UAV with shorter take-off and landing distance will be more effective and efficient in economical and operational aspects. The take-off process consists of two phase, the *ground-run* and *airborne*. The *ground-run* is take-off phase which aircraft accelerates from stop ($V=0$) to rotation speed (V_r). There is a variety of method to measure *ground-run* distance such as observation by applying high-speed photography, marking the runway, inertial method, conventional data recording or *differential GPS*. The *ground-run* distance prediction method employing standard formulas involves complex mathematical operation and required accurate parametric standard measurement. This paper studied the estimation method of *ground-run* distance by determining the longitude and latitude coordinate when UAV on stop position with $V=0$ till accelerated up to rotation speed (V_r). Coordinate systems of longitude and latitude were taken from UAV data flight test. The estimated *ground-run* distance will be calculated from the coordinate difference which converted to length dimension. This method was produce more accurate result of *ground-run* distance. This method can be easily implemented to many types of UAV with more practical and simpler estimation.

Keywords: *ground-run distance*, UAV, GPS.

1. PENDAHULUAN

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) saat ini digunakan untuk berbagai keperluan seperti misi militer, sipil, dan pengetahuan umum seperti pengawasan, pengintaian, pemetaan ataupun pengamatan kondisi permukaan bumi. Pemutakhiran teknologi UAV terus ditingkatkan oleh lembaga penelitian maupun industri UAV dalam negeri dengan maksud mencapai misi yang diinginkan. Salah satu teknologi UAV adalah kemampuan UAV untuk dapat terbang dan mendarat di landasan pendek atau *short take-off and landing* (STOL). Kemampuan STOL UAV memiliki tujuan penting agar pesawat dapat diterbangkan dan mendarat di atas kapal laut atau di bandara-bandara kecil untuk meningkatkan nilai ekonomis dan biaya operasional.

Beberapa metode estimasi jarak *take-off* sebuah pesawat antara lain dengan menggunakan teleskop [1], teknik fotografi kecepatan tinggi, penandaan pada *runway*, perhitungan awal sebelum terbang, menggunakan rekaman konvensional dan *differential* GPS [2]. Dalam menggunakan teknik fotografi kecepatan tinggi, pengamat menggunakan foto dari pesawat yang diamati dari menara satu ke menara dua, mencatat waktu dan *angle of attack* [3]. Metode ini memerlukan ketelitian yang tinggi dan biaya yang relatif mahal.

Penentuan jarak *ground run* secara konvensional melibatkan operasi matematika yang kompleks, serta membutuhkan parameter ukur yang spesifik. Sehingga beberapa metode estimasi jarak *ground run* sebuah pesawat banyak dilakukan penelitian.

Metode estimasi jarak *ground-run* dengan menggunakan data GPS dapat digunakan sebagai salah satu metode yang mudah dilakukan, praktis dengan waktu perhitungan yang lebih cepat sehingga dapat diterapkan langsung di lapangan.

2. METODOLOGI

2.1. Estimasi Jarak *Ground-Run* UAV dengan menggunakan data GPS

TAKE-OFF

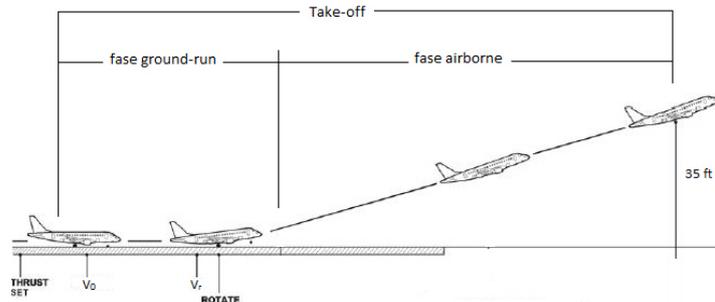
Fase *take-off* adalah proses pesawat udara berpindah dari keadaan diam ke keadaan bergerak di atas permukaan tanah atau landasan menjadi terbang di udara. Fase *take-off* terbagi menjadi dua bagian, yaitu [4]:

a. Fase *ground-run*

Yaitu fase pesawat *take-off* saat pesawat bergerak dari diam ($V=0$) hingga mencapai *rotation speed* (V_r). Saat pada fase ini, pesawat masih menyentuh tanah.

b. Fase *airborne*

Yaitu fase *take-off* saat kondisi pesawat telah mencapai kecepatan rotasi (V_r) untuk melakukan gerakan *pitch* dengan kecepatan tetap sampai mencapai kecepatan *lift off* ($V_{liftoff}$) hingga *main landing gear* lepas dari landasan dan mencapai titik *obstacle*. Sesuai dengan regulasi FAA (*Federal Aviation Association*), *obstacle* untuk pesawat militer adalah 35 ft (10.67 m) dan pesawat sipil adalah 50 ft (15.26 m) [5].



Gambar 1. Diagram fase *take-off* pesawat

APLIKASI GPS

Global Positioning System (GPS) merupakan sistem berbasis satelit yang sangat akurat dan penting digunakan dalam navigasi yang mencatat posisi berdasarkan garis lintang (*latitude*), bujur (*longitude*) dan waktu [6] [7]. Pengukuran jarak secara *point-to-point* dapat dilakukan dengan menggunakan data GPS. Termasuk dengan pengukuran jarak *ground run* pesawat. Namun, pengukuran jarak dengan menggunakan data GPS perlu mempertimbangkan realitas geometris bumi berbentuk bulat [5].

Beberapa metode pengukuran jarak dua titik yang dipaparkan oleh Zarinbal adalah metode Rectlinier dan Euclidean [8]. Pengukuran jarak dengan metode Euclidean mengasumsikan bahwa jarak perjalanan suatu objek mengikuti garis lurus, sedangkan pada metode pengukuran jarak Rectlinier mensyaratkan hanya diperbolehkan pada dua titik yang memiliki arah saling tegak lurus [7]. Metode perhitungan jarak lainnya yaitu dengan menggunakan teorema Pythagoras, namun teori ini hanya tepat apabila digunakan untuk mengukur jarak secara dua dimensi dan untuk jarak pendek [6]. Ketiga metode ini dianggap kurang tepat apabila di aplikasikan pada bidang bumi yang berbentuk bulat.

Dalam makalah ini akan digunakan metode pengukuran jarak untuk lingkaran besar yang akan dijelaskan dalam metodologi. Metode lingkaran besar banyak digunakan dalam dunia navigasi [6] [7] [9]. Oleh karena itu, pada tulisan ini akan dibahas tentang penerapan metode pengukuran jarak pada lingkaran besar untuk mengetahui jarak *ground-run* UAV dengan menggunakan data terbang.

2.2. Metode Pengukuran Jarak untuk Lingkaran Besar

Dalam makalah ini dikaji penggunaan data koordinat GPS untuk menentukan jarak *ground-run* UAV. Objek sampel data UAV yang digunakan pada makalah ini adalah PUNA BPPT Alap-alap PA2. Data terbang yang digunakan antara lain adalah waktu, koordinat *longitude* dan *latitude* dari sensor GPS dalam IMU UAV. *Ground speed* dan ketinggian pesawat diperlukan untuk menentukan waktu saat pesawat memulai fase *take-off*. Saat pengambilan data uji terbang, *ground speed* pada saat rotasi (V_r) perlu dilakukan pemantauan untuk menentukan kecepatan minimum yang harus dicapai pada saat pesawat mencapai titik yang telah ditentukan dalam *flight test manual*. V_r dicatat untuk menandai bahwa pada kecepatan tersebut, *nose gear* telah terangkat dari landasan dan pesawat mulai beralih menuju fase *airborne*. Perhitungan dan pembuatan grafik pada makalah ini dilakukan dengan menggunakan algoritma sebagai berikut:

1. Membuat grafik ketinggian terhadap titik data untuk menganalisis pesawat dalam fase *take-off* dan menganalisis *ground speed* pada saat ketinggian pesawat akan mengalami perubahan ketinggian.
2. Menentukan waktu yaitu t_0 saat pesawat dalam kondisi V_0 dan t_1 saat pesawat telah mencapai V_r .
3. Menentukan dan mencatat koordinat *latitude* dan *longitude* saat t_0 dan t_1 .
4. Menghitung jarak (d) antara dua titik koordinat tersebut dengan menggunakan metode lingkaran besar, yaitu [6][7]:

$$d = a \cos(\sin(Lat1) \times \sin(Lat2) + \cos(Lat1) \times \cos(Lat2) \times \cos(Lon1 - Lon2)) \quad (1)$$

5. Mengonversikan hasil jarak *ground-run* ke dalam satuan meter [6].

$$NM = \text{radian} \times 3437.7387 \quad (2)$$

$$\text{Mile} = NM \times 1.150779 \quad (3)$$

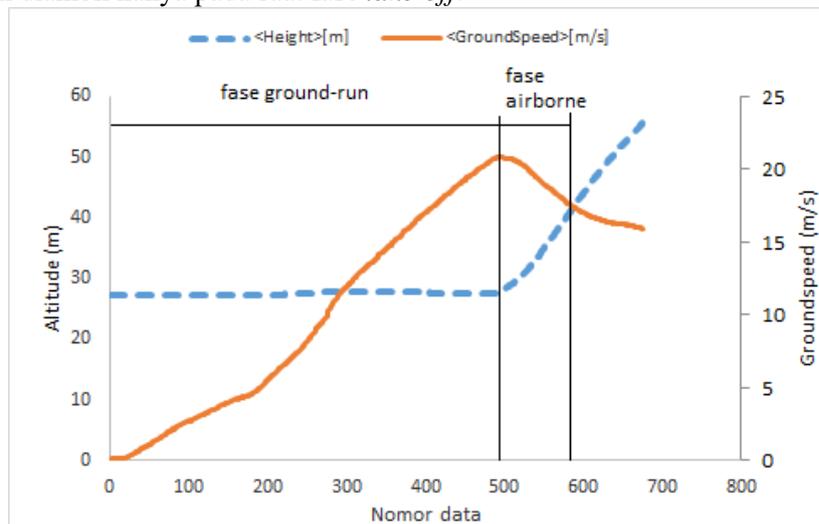
$$FT = \text{Mile} \times 5280 \quad (4)$$

$$\text{Meter} = FT \times 0.3048 \quad (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode estimasi pengukuran jarak *ground-run* dengan menggunakan data GPS ini memerlukan teknik pemilihan data yang tepat. Dalam pemilihan data untuk menentukan titik koordinat *latitude* dan *longitude* dari dua titik yaitu saat V_0 dan V_r , analisis diperlukan terhadap data terbang dari waktu, ketinggian, *ground speed*, tekanan barometrik, *RPM engine*, dan dokumen pengamatan yang dikeluarkan oleh *flight test director* saat di lapangan. Pada Gambar 2 digambarkan tentang diagram fase

take-off pada PUNA BPPT, dengan mengkorelasikan ketinggian terbang dan *ground speed* yang tercatat dalam data *logger* pesawat. Data *logger* yang digunakan untuk merekam data terbang, menyimpan data tiap 0.04 detik sehingga dalam 1 detik terdapat 25 data terbang. Data yang digunakan dalam makalah ini telah dipilih dan diambil hanya pada saat fase *take-off*.



Gambar 2. Diagram korelasi perubahan ketinggian dan *ground speed* pada PUNA BPPT.

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa pesawat berada pada ketinggian 27 m AGL (*Above Ground Level*) dan mengalami perubahan ketinggian saat pencatatan data yang ke 488. Pada titik tersebut, nilai *ground speed* pesawat mencapai titik maksimum dan kemudian pesawat mengalami perubahan ketinggian. Setelah mencapai V_r dengan nilai *ground speed* maksimum, kemudian nilai V mengalami penurunan dikarenakan sebagian energi yang sebelumnya digunakan untuk mempercepat laju pesawat di landasan datar selanjutnya digunakan oleh pesawat untuk meningkatkan *rate of climb*. Fase dari saat *ground speed* sama dengan nol (V_0) hingga mencapai V_{rotate} (V_r) disebut dengan fase *ground-run*.

Dari Gambar 2, kemudian di catat posisi koordinat *longitude* dan *latitude* pesawat seperti pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Posisi koordinat *latitude* dan *longitude* pada fase *ground run*

Nomor data	Altitude (m)	Ground speed (m/s)	Latitude (rad)	Longitude (rad)
1	27	0.11	-0.1347286215	1.8935187641
488	27	20.75	-0.1347370184	1.8934922448

Dengan mengacu pada Tabel 1, nomor data 1 kemudian disebut sebagai data 1 yaitu saat V_0 sehingga *latitude* disebut dengan Lat1 dan *longitude* disebut dengan Lon1. Nomor data 488 disebut sebagai data 2, yaitu saat pesawat mencapai V_r , sehingga *latitude* dan *longitude* pada kondisi ini disebut dengan Lat2 dan Lon2.

Jarak pada fase *ground-run* ini kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan (1), dan kemudian dikonversikan satuannya dengan menggunakan persamaan (2), persamaan (3), (4) dan (5). Sehingga diperoleh hasil perhitungan jarak *ground-run* adalah 175.64 meter. Dari hasil pengamatan yang dilakukan selama uji terbang berlangsung dan informasi data terbang, tidak ada faktor yang mempengaruhi peningkatan jarak *ground-run* dari faktor angin baik *headwind* maupun *tailwind*.

Hasil perhitungan ini kemudian diverifikasikan dengan dokumen *Flight Test* PUNA BPPT yang telah dilakukan pengamatan saat uji terbang yaitu ± 150 meter dengan adanya *headwind* ± 5 knots dengan massa pesawat 22 kilogram dan *fuel* 3 liter. *Headwind* yaitu angin pada permukaan landasan yang berlawanan dengan arah terbang pesawat, sehingga dapat meningkatkan gaya angkat dan memperpendek jarak *ground-run* pesawat di atas landasan [10]. Jarak *take-off* yang dipengaruhi oleh adanya *headwind* dapat berkurang sekitar 1,5% tiap knot *headwind* hingga 10 knots [11]. Selain itu, beberapa faktor lingkungan yang mempengaruhi jarak *take-off* antara lain yaitu kondisi *runway*, temperatur permukaan landasan, elevasi bandara, angin, densitas udara, berat pesawat, *engine thrust* dan *flap setting* [12].

Perbedaan antara hasil estimasi dengan metode penggunaan data GPS ini dan pengamatan langsung di lapangan memiliki beda $\pm 16\%$. Perbedaan nilai ini bisa disebabkan oleh faktor lain yang mempengaruhi *take-off performance* pesawat yang belum dianalisis secara lebih mendalam. Sehingga, dari kedua tahapan verifikasi data tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode estimasi jarak *ground run* dapat dilakukan dengan menggunakan data GPS dengan waktu perhitungan lebih cepat dan praktis.

4. KESIMPULAN

Metode estimasi jarak *ground-run* UAV dapat dilakukan dengan menggunakan data GPS dengan waktu perhitungan yang sederhana, cepat dan praktis. Pada penelitian ini terdapat perbedaan antara hasil estimasi dengan metode penggunaan data GPS dan pengamatan langsung di lapangan sebesar $\pm 16\%$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih atas diberikannya kesempatan untuk mempublikasikan makalah ini. Terima kasih kepada Dr. Ir. Adhi Dharma Permana, M.Sc selaku direktur PTIPK, TIRBR – BPPT, Dr. Fadilah Hasim, B.Eng, M.Sc selaku kepala bidang Program dan Anggaran PTIPK – TIRBR- BPPT, Ir. Joko Purwono, M.Sc selaku kepala program kegiatan Drone dan Rudal tahun 2017 dan rekan-rekan PTIPK atas fasilitas dan dukungan dalam melakukan kegiatan penelitian.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Russel E. Erb., “A Low Cost Method For Generating Take Off Ground Roll Charts From Flight Test Data”, 27th Annual Symposium Society of Flight Test Engineers (SFTE), Texas, 1996.
- [2] G. B. Gratton, “A Timed Method for The Estimation Of Aeroplane Take-Off And Landing Distance”, Aeronautical Journal: AeroJ, Vol 112, No.1136, 2008.
- [3] USAF Test Pilot School Edwards AFB, “Performance Phase Chapter 8. Take Off and Landing Performance”, Volume 1, Chapter 8, California. 1993. Tersedia di: <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA320210> .
- [4] Larson, Terry J., Schweikhard, William G., “A Simplified Flight Test Methode for Determining aircraft Takeoff Performance that Includes Effect of Pilot technique”, National Aeronautics and Space Administration (NASA), USA, 1974.
- [5] CAA, “Takeoff and Landing Performance”, New Zealand, 2004. Tersedia di: https://www.caa.govt.nz/safety_info/GAPs/Takeoff_Landing.pdf.
- [6] Stefan, Jeff, “Navigating with GPS”, Circuit Cellar 123, 2003.
- [7] Mwemezi, Jovin J., and Youfang Huang, “Optimal facility location on spherical surfaces: algorithm and application.” New York Science Journal 4.7: 21-28, 2011.
- [8] Zarinbal, M. “Distance Functions in Location Problems. In: Farahani, R.Z and Masoud, M. Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies”, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009.
- [9] Williams, Ed., “Aviation Formulary VI. 42.” Aviation 1: 42, 2004.

- [10] Fadholi, A, “Analisis Komponen Angin Landas Pacu (Runway) Bandara Depati Amir Pangkal Pinang”, Statistika, Vol.13, No.2, November 2013.
- [11] FAA, “Aircraft Performance”, Chapter 11. Tersedia di: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak/media/13_phak_ch11.pdf
- [12] Roed, Aage, “Flight Safety Aerodynamics”, 2nd Edition. Airlife Publishing Ltd, England, 1997.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS 1

DATA UMUM

Nama Lengkap : Agitta Rianaris, S.Si
Tempat & Tgl. Lahir : Klaten, 31 Agustus 1989
Jenis Kelamin : Perempuan
Instansi Pekerjaan : PTIPK - BPPT
NIP. / NIM. : 198908312012122003



DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMA Negeri 1 Kudus Tahun: 2004-2007
STRATA 1 (S.1) : Fisika FMIPA, Universitas Sebelas Maret Tahun: 2007-2011

ALAMAT

Alamat Kantor / Instansi : Gd 256 PTIPK BPPT, Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan
Email : agitta.rianaris@bppt.go.id; agittarianaris@gmail.com

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS 2

DATA UMUM

Nama Lengkap : Jemie Muliadi
Tempat & Tgl. Lahir : Jakarta, 17 Juli 1979
Jenis Kelamin : Laki-laki
Instansi Pekerjaan : BPPT
NIP. / NIM. : 197907172006041004



DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMAN 13 Jakarta Utara Tahun: 1998
STRATA 1 (S.1) : ITB Tek. Penerbangan Tahun: 2005
STRATA 2 (S.2) : UI Tek. Elektro Tahun: 2014

ALAMAT

Alamat Kantor / Instansi : Gd. 256, Lt. 2, PTIPK-BPPT, Kompleks Puspiptek, Serpong
Telp. : 021-4353086
Email : jemie.muliadi@bppt.go.id; jemiemuliadi@gmail.com