

PENGEMBANGAN SISTEM PENGENDALI DARAT BAGI ROKET DAN UAV KECEPATAN TINGGI DENGAN TRAKING ANTENA OTOMATIS BERBASISKAN GPS (DEVELOPMENT OF ROCKET AND HIGH SPEED UAV GROUND CONTROL SYSTEM WITH GPS-BASED AUTO TRACKING ANTENNA)

Herma Yudhi Irwanto

Pusat Teknologi Roket

Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional (LAPAN)

Jl. Raya Lapan No.2 Mekarsari, Rumpin, Bogor 16350, Jawa Barat

e-mail: herma.yudhi@lapan.go.id

Diterima: 8 Januari 2018; Direvisi: 19 Februari 2018; Disetujui: 21 Februari 2018

ABSTRACT

The flight test of LAPAN's rockets and high speed Unmanned Aerial Vehicles (UAV), need monitoring system track their position and attitude. The objective of the research is to develop mobile ground control and tracking antenna system to support the LAPAN's flight test monitoring system. The system was built by utilizing the currently available equipment components into a ground control station (GCS) equipped with GPS based auto tracking antenna. This ground control system is equipped with automatic tracking antenna that always poin to the vehicle, so that the flying vehicle's attitude data will be maximally monitored, and analyzed directly with ease. This system has been tested on a laboratory scale related to testing using hardware in the loop simulation system, and therefore has been proven to be better than the previous flight test ground station, which only has manual tracking antenna.

Keywords: high speed UAV, ground control station (GCS), GPS-based auto-tracking antenna, hardware in the loop simulation

ABSTRAK

Pengujian wahana terbang baik roket maupun wahana nir-awak berkecepatan tinggi yang saat ini dikembangkan oleh LAPAN, membutuhkan sebuah sistem untuk memonitor posisi dan mengendalikan perilaku wahana tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membangun stasiun bumi pengendali wahana yang diuji terbang. Sistem tersebut dibangun dengan memanfaatkan beberapa komponen dan peralatan yang saat ini telah tersedia di Pustekroket, menjadi sebuah sistem pengendali darat yang dilengkapi dengan traking antena otomatis berbasis GPS. Sistem pengendali darat ini dilengkapi dengan tracking antena otomatis yang selalu mengarah pada wahana terbang, sehingga data-data perilaku terbang wahana akan secara maksimal dapat dimonitor dan dianalisa secara langsung dengan mudah. Sistem ini telah diuji cobakan dalam skala laboratorium terkait dengan pengujian menggunakan *hardware in the loop simulation system*, sehingga telah terbukti memudahkan kegiatan pementauan uji terbang, dibandingkan dengan yang sebelumnya digunakan, yakni dengan traking antena secara manual.

Kata kunci: wahana nir-awak berkecepatan tinggi, sistem pengendali darat, traking antena otomatis berbasis GPS, hardware in the loop

1 PENDAHULUAN

Pengujian atau peluncuran wahana terbang baik itu berbentuk roket maupun wahana nir awak/*Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*, sangat membutuhkan adanya Sistem Pengendali Darat/*Ground Control Station (GCS)*, yang dapat memonitor secara mudah keseluruhan data perilaku wahana maupun posisi wahana selama terbang secara langsung (Samad, 2015) (Ganti, 2015). Saah satu element yang penting dalam GCS adalah antenna yang digunakan untuk mentransmisikan dan menerima data dari roket/UAV. Pentingnya antenna dalam paket GCS dalam pengujian roket maupun UAV, memacu peningkatan kapasitas antenna yang saat ini ada untuk dijadikan sebagai sistem tracking antenna otomatis. Di Pustekroket, upaya untuk tracking UAV maupun roket yang sedang terbang telah dilakukan, tetapi saat ini masih sebatas penggunaan antenna yang digerakkan secara manual atau semi manual. Dengan pengembangan ini diharapkan sistem GCS dengan tracking antenna ini berguna dan berfungsi untuk mendukung pengembangan RPS (Roket Peluncur Satelit) LAPAN.

Di samping itu uji terbang roket maupun UAV yang biasanya dilakukan di tempat yang jauh dari adanya jaringan listrik, mengharuskan GCS maupun sistem tracking antenna tersebut mampu berlaku secara '*mobile*', mudah dibawa kemana-mana dengan baterai yang sudah termasuk di dalamnya.

Riset terkait dengan sistem tracking antenna otomatis secara mandiri juga telah dilakukan beberapa tahun yang lalu, tetapi terhambat pada radio telemetri yang dipakai saat itu. Radio yang menggunakan perubahan frekuensi secara acak atau '*hopping system*' tersebut, menyulitkan deteksi posisi wahana yang didapatkan berdasarkan konversi frekuensi ke tegangan.

Perubahan tegangan yang tidak beraturan tersebut, memunculkan kesulitan terhadap penentuan posisi wahana yang dipakai acuan untuk mengatur arah antenna (Suryana, 2013). Kegagalan dalam menentukan arah antenna tersebut membuat data kurang berhasil ditransmisikan dan diunduh.

Pada riset ini pengembangan sistem tracking antenna otomatis kali ini diarahkan dengan memanfaatkan GPS sebagai basis tracking dengan cara memperhitungkan posisi antenna dan wahana terbangnya. Riset yang sama diantaranya dilakukan oleh Bahat dkk (Bahat, 2015). Tahapan pengembangan sistem ini meliputi pengujian secara simulasi di labo-ratorium, pengujian lapangan dan pengujian sesungguhnya yang melibatkan roket maupun UAV.

2 TUJUAN

Riset ini dilakukan guna meningkatkan keandalan penggunaan GCS dan sistem tracking antenna berbasis GPS untuk pengujian roket atau UAV dengan jarak medium dan kecepatan gerak yang tidak terlalu ekstrim. Dan secara khusus, riset ini ditujukan untuk:

- Penguasaan sistem GCS dan sistem tracking antenna otomatis berbasis GPS untuk mendukung uji terbang roket maupun UAV.
- Mencari solusi yang tepat untuk pengembangan sistem GCS dan tracking antenna otomatis berbasis GPS dengan memanfaatkan *Hard-ware in the Loop Simulation System (HILS)* roket yang dikembangkan di LAPAN (Irwanto, 2016) (Irwanto, 2015) sebagai sarana pengujian riset ini.

3 METODOLOGI

Pengembangan GCS dalam riset ini akan dilakukan dalam beberapa tahap :

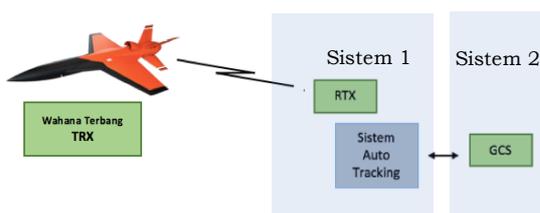
1. Rancang bangun *mobile* GCS dan tracking antenna otomatis berbasis

GPS dengan melibatkan *micro controller*, *Inertial Measurement Unit (IMU)* dan sistem mekanik untuk sistem kontrol tertutup terhadap posisi wahana terbang.

2. Rancang bangun software komunikasi antara GCS dan wahana terbang termasuk format *protocol* pengiriman datanya.
3. Membuat sistem antisipasi jika jika data GPS tidak terdeteksi atau system on-board mendapatkan gangguan karena *shock* atau vibrasi.
4. Karena melibatkan wahana terbang, roket atau UAV secara langsung dalam pengembangan GCS dan sistem tracking antena otomatis ini akan banyak memerlukan biaya dan koordinasi yang kompleks, maka pengujian sistem tahap awal dilakukan dengan memanfaatkan HILS roket LAPAN sebagai sarana simulasi terbang wahana, sebelum melakukan uji terbang sesungguhnya.

4 SISTEM YANG DIKEMBANGKAN

Secara garis besar, riset yang dikembangkan dalam paper ini terdiri atas 2 sistem yang saling berkomunikasi satu sama lain, yakni *mobile GCS* dan tracking antena otomatis berbasis GPS, yang keduanya harus saling terkait untuk dapat melakukan komunikasi data dengan wahana terbang melalui *protocol* yang telah ditentukan. Blok diagram keduanya tergambar sebagaimana Gambar-1 berikut :



Gambar 4-1: Blok diagram sistem

4.1 Sistem Pengendali Darat (GCS)

Mobile GCS (Zhang, 2012) (Hong, 2008) ini merupakan terminal terakhir monitoring attitude dan posisi wahana, juga berfungsi sebagai control terhadap setting gain, control gerak antenna tracking dan juga sebagai penentu way points. *Mobile GCS* (Gambar 4-2) ini harus dibuat compact, mudah dibawa dan mempunyai battery sendiri untuk kondisi di lapangan yang sulit didapatkan sumber listrik.

Agar berfungsi sebagai GCS yang *user friendly*, telah dirangkai beberapa

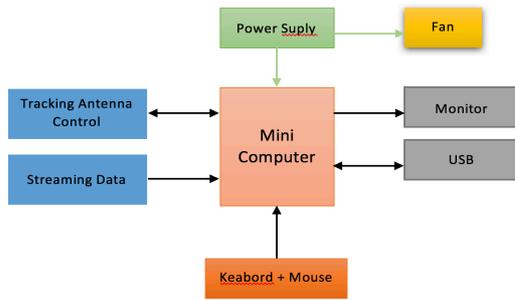


Gambar 4-2: *Mobile GCS*

komponen yang menghadirkan *compact GCS* dan mudah dibawa. GCS ini dilengkapi dengan komputer utama dengan spesifikasi Windows 7 Pro, 1.3GHz, 4 GB DDR3, 500GB HDD.

Pengembangan software GCS nya menggunakan LabView 2015. Dan agar tahan terhadap benturan, debu dan air, maka GCS ini dibungkus dengan *case enclosure* yang sesuai dengan kebutuhan tersebut.

Rangkaian GCS ini tidak terlalu rumit, dengan inti sebuah mini komputer yang mengontrol tracking antena, menerima data dan menampilkannya dalam monitor (Gambar 4-3).



Gambar 4-3: Blok diagram GCS

4.2 Traking Antena Otomatis berbasis GPS

Pengembangan traking antenna ini diutamakan untuk memanfaatkan komponen yang berasal dari peralatan yang telah diadakan dalam pengadaan tahun-tahun sebelumnya. Nantinya gabungan peralatan-peralatan tersebut akan di *re-class* menjadi alat baru, yakni traking antenna otomatis berbasis GPS (Pham, 2013).

Upaya pengembangan traking antenna otomatis ini sebenarnya telah dilakukan pada beberapa tahun yang lalu, tetapi terkendala dengan jenis radio telemetry yang dipakai. Penggunaan radio telemetry jarak menengah, sejauh 60 km dengan menggunakan 2 jenis radio yang berbeda (*MaxStream* dan *MicroHard*), keduanya menggunakan *hopping* frekuensi pada 902-928 MHz. Sistem ini membuat frekuensi selalu berubah, sehingga menyulitkan pembacaan data oleh *micro controller* setelah mengkonversi kan frekuensi tersebut menjadi tegangan. Perubahan tegangan yang tidak beraturan menyulitkan pembacaan posisi wahana yang sesungguhnya.

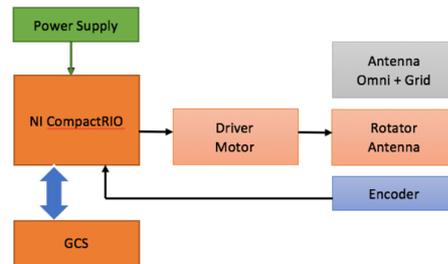
Oleh karenanya, strategi traking antenna dirubah menjadi berbasis GPS. Perubahan posisi wahana terhadap posisi antenna, akan menghasilkan perubahan *azimuth* dan *elevation*. Perubahan inilah yang akan di otomatisasi oleh *micro controller*.

Paket traking antenna ini secara garis besar terdiri atas antenna yang

didudukkan di atas 2 sumbu *rotator* pada 3 foot stand yang menopang dan blok *driver controller antenna*. 2 jenis antenna mendukung sistem ini yakni *grid parabola* dan *omni* antenna pada frekuensi 900MHz, digabungkan dengan *splitter* ke radio telemetry (Gambar 4-4).



Gambar 4-4: Traking antenna otomatis



Gambar 4-5: Blok diagram *driver controller antenna*

Radio telemetry yang digunakan sama dengan radio yang ada di sistem kendali terbangnya. Dengan kata lain, sistem traking antenna otomatis ini memungkinkan untuk digunakan dalam berbagai kegiatan riset baik UAV maupun roket kaliber besar maupun kecil, karena radio *Microhard* ini biasa dipasang pada roket kaliber 320 dan 450 mm dengan jarak jangkauan maksimum sampai 80 km.

Dengan menggabungkan beberapa komponen yang diperlukan dalam mengontrol gerakan *rotator* antenna ini untuk selalu mengarah pada wahana terbang secara otomatis, adalah blok diagram (Gambar 4-5) dan *real box controller* (Gambar 4-6) yang menyatukan semua komponen yang diperlukan tersebut.



Gambar 4-6: Driver controller antenna

4.2.1 Formula Traking Antena berbasis GPS

Sistem traking antena berbasis GPS ini dikembangkan karena kesulitan yang muncul pada model pengembangan sebelumnya yakni sistem traking menggunakan kuat sinyal radio telemetri dengan frekuensi *hopping*. Sedangkan model berbasis GPS ini hanya mengandalkan posisi antena dan wahana terbang dalam *longitude*, *latitude* dan *altitude*.

Data perbedaan *longitude* dan *latitude* antara wahana terbang dan posisi antena akan menghasilkan data azimuth, sedangkan data *altitude* wahana akan menghasilkan data elevasi. Berikut adalah perhitungan jarak wahana terhadap posisi antena berdasarkan rumus trigonometry umum (Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points) :

$$a1 = \left(\frac{\sin(lat1 - lat2)}{2} \right)^2 + \cos(lat1) * \cos(lat2) * \left(\frac{\sin(lon1 - lon2)}{2} \right)^2 \quad (4-1)$$

$$a2 = 2 * \sin^{-1}(\sqrt{a1}) \quad (4-2)$$

$$Range = a2 * 180 * \frac{60}{\pi} * 1.852 \quad (4-3)$$

dimana koordinat posisi antena ($lon1$, $lat1$) dan koordinat posisi wahana ($lon2$, $lat2$) dikonversikan dalam radian. Sedangkan arah antena terhadap wahana, yakni azimuth dapat dihitung berdasarkan formula berikut :

Jika $\sin(lon2-lon1) > 0$, maka:

$$Azimut = \cos^{-1} \left(\frac{\sin(lat2) - \sin(lat1) * \cos(a2)}{\sin(a2) * \cos(lat1)} \right) \quad (4-4)$$

Sebaliknya jika $\sin(lon2-lon1) < 0$, maka:

$$Azimut = (2 * \pi) - \cos^{-1} \left(\frac{\sin(lat2) - \sin(lat1) * \cos(a2)}{\sin(a2) * \cos(lat1)} \right) \quad (4-5)$$

Sedangkan elevasi antena terhadap wahana dapat dihitung secara sederhana menggunakan rumus *Pythagoras* :

$$Elevasi = \tan^{-1} \left(\frac{alt\ wahana - alt\ antenna}{Range} \right) \quad (4-6)$$

4.2.2 Penggunaan Encoder sebagai pengganti IMU sensor

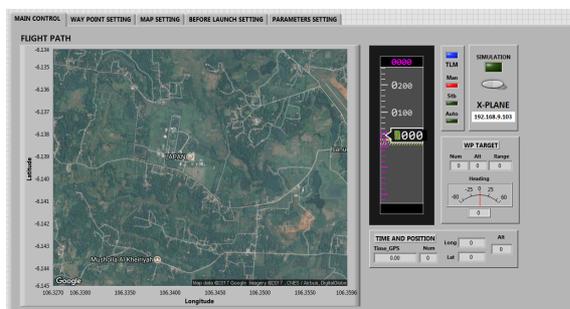
Seperti yang telah diutarakan di atas, bahwa saat ini IMU sensor yang seharusnya menjadi sensor terhadap azimuth dan elevasi antena bermasalah terhadap gelombang *elektro magnetic* yang dihasilkan oleh *rotator* antena itu sendiri, dan tidak mungkin lagi digunakan sebagai input pembandingan terhadap posisi wahana. Sehingga saat ini fungsi sensor tersebut digantikan dengan *encoder* (Incze, 2010) meskipun harus dilakukan prosedur yang cukup

rumit dalam perhitungan azimuth dan elevasinya.

Selain formula no 1 sampai 6 di atas digunakan untuk menghitung nilai azimuth dan elevasi, penggunaan encoder ini juga harus menambahkan konversi perhitungan nilai *absolut encoder* menjadi sudut, agar dapat dimasukkan ke dalam formula-formula tersebut. Juga sebelumnya harus dilakukan kalibrasi terhadap maksimum, center dan minimum azimuth, juga kondisi yang sama terhadap elevasinya, sebelum melakukan tracking wahana.

4.3 GCS Software dan Komunikasi Data

Menggunakan *NI CompactRIO* sebagai pengendali utama sistem tracking antenna ini, berarti paket software yang harus digunakan adalah *LabView*. Saat ini telah dikembangkan *Ground Control System (GCS)* menggunakan *LabView 2015* (Irwanto, 2017). Seluruh perilaku wahana selama terbang dapat ditampilkan dalam GCS ini seperti posisi wahana dengan *background google map*, menampilkan data *longitude*, *latitude* dan *altitude*, juga kondisi *roll*, *pitch*, *yaw*, *speed* dalam bentuk *gauges* dan lain-lain data supporting untuk memudahkan pengguna dalam memonitor seluruh kondisi terbang wahana secara langsung (*real time*) (Gambar 4-7 dan 4-8).



Gambar 4-7: GCS dalam *mode Map*



Gambar 4-8: GCS dalam *mode Cockpit*

GCS ini dilengkapi dengan *Way Points Setting*, *Map Setting*, *Before Launch Setting* dan *Parameters Setting* untuk kebutuhan-kebutuhan standar sebuah GCS. Dan tentu saja GCS ini juga dikoneksikan ke sistem tracking antenna melalui *User Datagram Protocol (UDP)*. Sehingga seluruh pergerakan wahana akan direspon oleh tracking antenna tersebut. Selain itu GCS ini juga dilengkapi dengan koneksi ke Sistem Simulator *Eksternal*, sehingga baik secara simulasi maupun pengujian sesungguhnya dapat dilakukan dalam GCS ini.

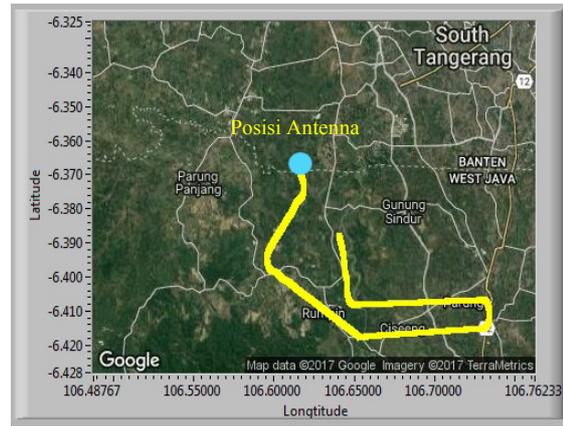
System komunikasi radio telemetry yang digunakan dalam GCS ini adalah serial data dengan kecepatan 115,200 bps, baik untuk RF maupun internal komunikasinya. Dan dalam tahapan pengembangan saat ini, sistem komunikasi tersebut masih menggunakan fase *flow control XON/XOFF*, agar dapat berkomunikasi 2 arah, dengan transfer *data rate* sebesar 20 Hz.

5 HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

Beberapa pengujian telah dilaksanakan, meskipun masih sebatas skala laboratorium. Karena pengujian lapangan secara langsung harus mengikuti event yang tersedia dan melibatkan banyak personel di dalam pengujian tersebut.

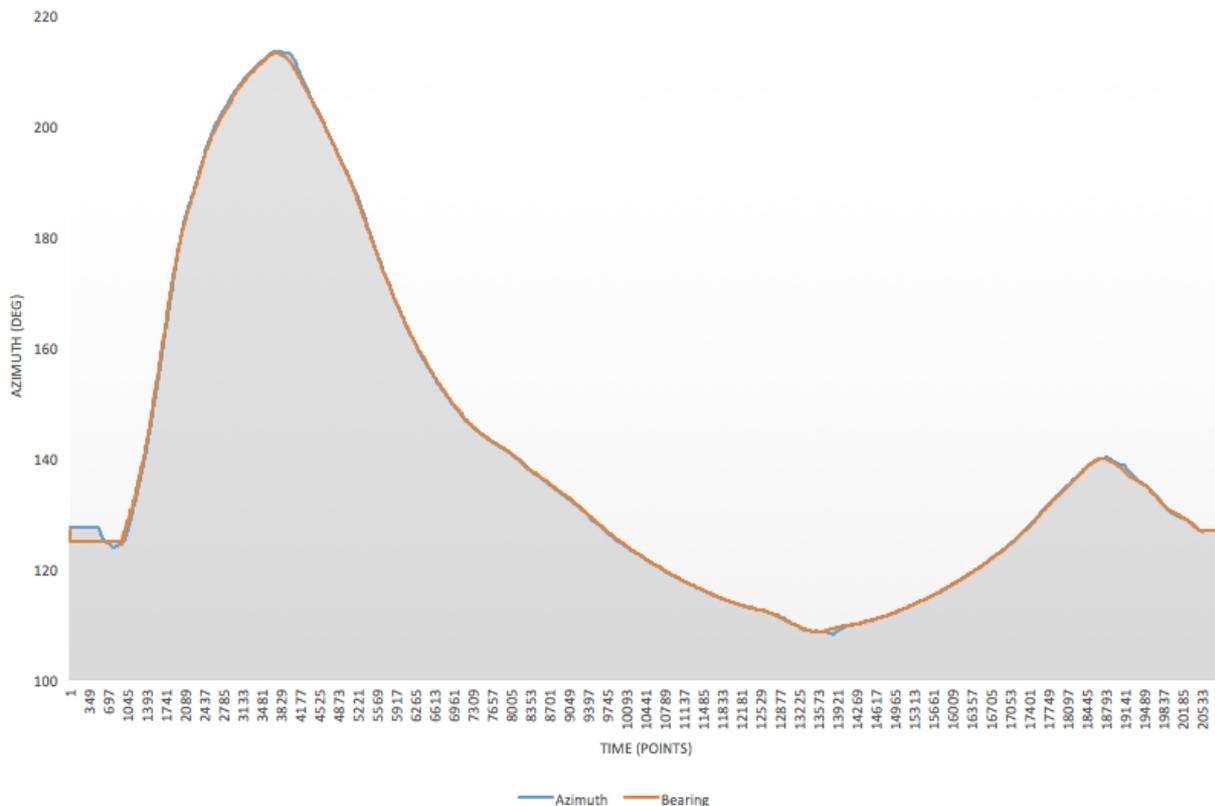
5.1 Pengujian menggunakan HILS

Riset ini merupakan riset yang berkesinambungan dari pengembangan sistem kendali mandiri yang telah dikembangkan sebelumnya [5-6]. Sistem ini telah berhasil mensimulasikan prosedur *auto take off* dan *auto pilot by way points* seperti pada Gambar 5-1. Dengan memanfaatkan HILS ini, *high speed UAV* (RKX-200TJ) dibuatkan simulasi terbang berdasarkan *way points* yang telah ditentukan. Hasilnya, koordinat dan *altitude* wahana dikirimkan via UDP ke *transfer computer* untuk dilakukan *parsing data*. *Transfer computer* ini berkomunikasi dengan *micro controller CompactRIO* melalui fasilitas *shared memory*. Selanjutnya, *micro controller* inilah yang akan menggerakkan *antenna rotator* untuk tracking wahana tersebut secara otomatis berdasarkan jarak and arah terhadap posisi antenna.



Gambar 5-1: Simulasi *auto pilot by way points* terhadap UAV berkecepatan tinggi

Berdasarkan simulasi tersebut, dapat dilihat pada Gambar 5-2, bahwa data hasil perhitungan *bearing* antara posisi wahana bergerak terhadap antenna data azimuth rotator antena sangat mirip. Artinya sistem bekerja secara akurat mengejar wahana bergerak secara otomatis.



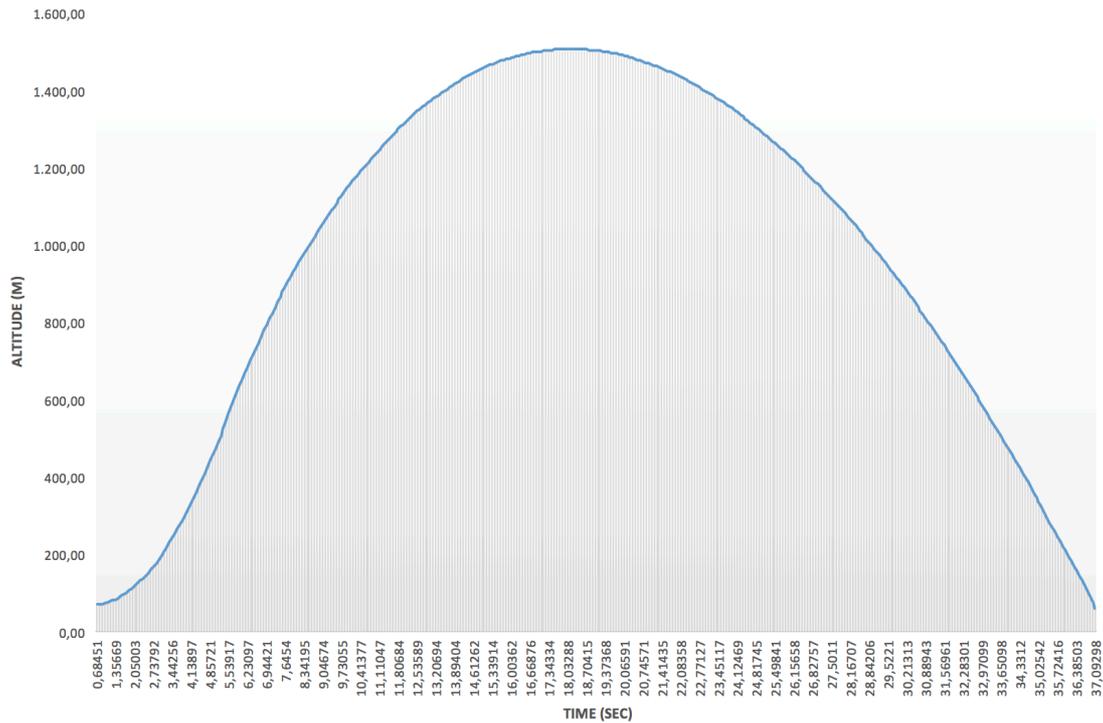
Gambar 5-2: Perbandingan data *bearing* dan azimuth rotator antenna

5.2 Simulasi Tracking Uji Terbang Roket

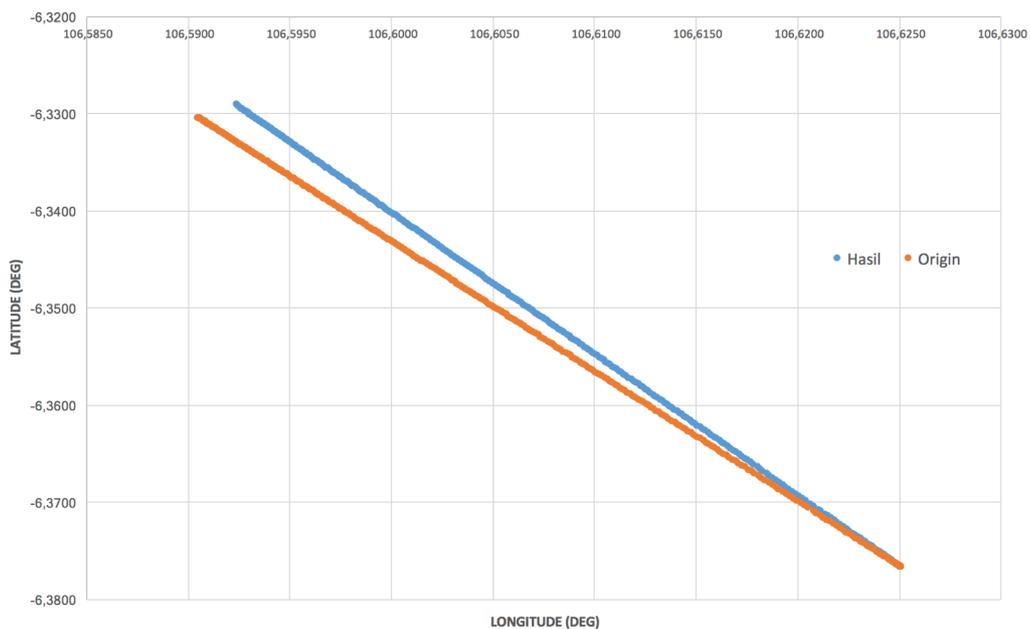
Uji terbang roket yang dimaksud di sini adalah uji terbang roket balistik, yang boleh dikata bahwa roket tersebut hanya terbang dalam bidang 2 dimensi, dengan asumsi tidak terjadi pergeseran heading roket selama terbang. Meskipun dalam beberapa uji terbang roket LAPAN,

terjadi pergeseran heading titik jatuh sampai ± 8 deg.

Berikut seperti yang tampak pada Gambar 5-3, adalah contoh prediksi terbang roket balistik RX-450 dalam 2 dimensi, waktu dan ketinggian. Berdasarkan formula 1 sampai 6 di atas, dihitung data azimut dan elevasinya. Hasilnya adalah Gambar 5-4,



Gambar 5-3: Prediksi terbang RKX-450



Gambar 5-4: Prediksi azimut

menunjukkan perbedaan sudut azimut sebesar 2,27 derajat dibanding sudut heading roket, sudut tersebut masih ter *cover* dengan sudut *cone* antena parabola nya.

Perhitungan azimut dan elevasi di atas hanyalah prediksi yang akan dipakai untuk mengantisipasi jika data telemetry tidak diterima oleh GCS. Dengan memanfaatkan data azimut dan elevasi tersebut yang disinkronkan dengan waktu terbang, maka antena akan tetap menghadap ke arah roket yang sedang terbang.

Sehingga berdasarkan hasil uji di atas, gabungan 2 sistem dalam satu kesatuan ini, yakni GCS dan tracking antena ini akan sangat berguna dan membantu uji terbang roket maupun UAV di waktu-waktu mendatang.

6 KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat dijadikan kesimpulan dari riset yang dilakukan dalam rangka pengembangan GCS dan sistem tracking antena ini adalah :

1. Pengembangan perangkat GCS dengan sistem tracking antena otomatis telah dilakukan. Dengan meningkatnya kapasitas peralatan tersebut proses kendali dan monitoring uji terbang roket dan UAV akan lebih handal.
2. Sistem GCS dan tracking antena otomatis berbasis GPS ini telah diuji coba dengan HILS untuk kasus tracking UAV berkecepatan tinggi yang terbang secara *auto pilot by way points* dan tracking 2 dimensi roket balistik.
3. Uji tracking roket balistik berhasil mengarahkan antena ke arah target wahana bergerak dengan *margin error* 2,5°, yang ter *cover* dengan sudut *cone* antena parabola yang dipakai.

4. Kegagalan penggunaan IMU sebagai sensor azimut dan elevasi antena dikarenakan adanya medan elektromagnetik yang dihasilkan *rotator*, berhasil digantikan oleh encoder.

Dengan hasil yang didapat, direkomendasikan untuk dilakukan engujian awal menggunakan wahana kecil (*aeromodelling*) atau *drone*, sebelum dilakukan uji terbang sesungguhnya menggunakan roket atau UAV berkecepatan tinggi.

Pengembangan berikutnya dari sistem ini adalah masalah akurasi, kecepatan gerak *rotator* antena, *protocol* komunikasi dan keamanan data, yang membuka peluang riset-riset baru terkait hal tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ditujukan kepada Deputi Teknologi Dirgantara dan Kepala Pusat Teknologi Roket, LAPAN atas fasilitas dan dukungan dalam melakukan kegiatan penelitian ini. Serta teman-teman dalam Program Sistem Kendali atas semua bantuan yang telah diberikan secara langsung maupun tidak langsung.

DAFTAR RUJUKAN

- Samad, M. F. A., and Harun, M. I. (2015). In-house development of unmanned aerial vehicle automatic antenna tracking system. *Jurnal Teknologi*, 76(4), 113–119. <http://doi.org/10.11113/jt.v76.5502>
- Ganti, S. R., and Kim, Y. (2015). Design of Low-Cost On-board Auto-Tracking Antenna for Small UAS. In *Proceedings - 12th International Conference on Information Technology: New Generations, ITNG 2015* (pp. 273–279). <http://doi.org/10.1109/ITNG.2015.50>

- Joko Suryana, Tommi Hariyadi, Herma Yudhi Irwanto. Design and Implementation of Moving Object Tracker for UAV / Rocket Ground Station. 2013 International Conference of *Information and Communication Technology (ICoICT)*. <http://doi.org/10.1109/ICoICT.2013.6574592>
- Bahat, M. F., and Filik, T. (2015). GPS-based antenna tracking and signal beamforming system for small UAV platform. *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. <http://doi.org/10.1109/SIU.2015.7130251>
- Herma Yudhi Irwanto. HILS of Auto Take Off System for High Speed UAV using Booster Rocket. In *ISITIA 2016 Recent Trend in Intelligent Computational Technologies for Sustainable Energy*. Institute Technology Sepuluh Nopember (ITS), Lombok 2016.
- Herma Yudhi Irwanto. Integrated Simulation System for High Speed UAV. In *Bunga Rampai Hasil Litbangyasa: Teknologi pada Pesawat Terbang, Roket dan Satelit*, LAPAN 2015.
- Zhang W, Qin GS. Design of UAV ground control station. In: *Advances in Intelligent and Soft Computing*. 2012. p. 249–56.
- Hong Y, Fang J, Tao Y. Ground control station development for autonomous UAV. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 2008. p. 36–44.
- Pham HD, Drieberg M, Nguyen CC. Development of vehicle tracking system using GPS and GSM modem. In: *2013 IEEE Conference on Open Systems, ICOS 2013*. p. 89–94.
- Movable Type Scripts, Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points. <https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>
- Incze II, Negrea A, Imecs M, Szabó C. Incremental Encoder Based Position and Speed Identification: Modeling and Simulation. *Acta Univ Sapientiae Electr Mech Eng*. 2010;2:27–39.
- Herma Yudhi Irwanto. Development of autonomous controller system of high speed UAV from simulation to ready to fly condition. *The 4th International Symposium on Smart Material and Mechatronics (ISSMM 2017)*, Hasanuddin University, Makasar, 2017.