

METODE PENGGABUNGAN BEBERAPA PENERIMA GPS UNTUK MENINGKATKAN AKURASI DAN KEANDALAN SISTEM PENJEJAK ROKET BALISTIK (METHOD OF COMBINING MULTI-GPS RECEIVERS TO IMPROVE ACCURACY AND RELIABILITY OF THE TRACKING SYSTEM OF SOUNDING ROCKET)

Wahyu Widada

Peneliti Bidang Telemetri dan Muatan Roket, Pusat Teknologi Roket, Lapan
e-mail: w_widada@yahoo.com

ABSTRACT

The level of civilian GPS technology is not accurate for ballistic missile tracking system. To solve the problem, this paper discusses the method of the combination of multiple GPS receivers to improve the accuracy and reliability of the system for tracking ballistic rockets. Data from each GPS receiver that receives valid satellite signals will be selected and combined with the microcontroller. Data collected from four microcontrollers are then calculated for average value and sent to the ground station using the radio telemetry. The experimental results using a prototype showed a decrease in RMSE (Root Mean Square Error) for the latitude and longitude of about 30%, whereas for the altitude of about 40%. The position of the GPS antenna in four different directions increases the reliability and performance of the receiver.

Keywords: *Consumer-level GPS, Multiple GPS, Rocket tracking, Microcontroller*

ABSTRAK

Kualitas GPS teknologi tingkat konsumen tidak cukup akurat untuk sistem penjejukan roket balistik. Untuk mengatasi masalah tersebut, tulisan ini membahas metode kombinasi multi *receiver Global Positioning System* (GPS) untuk meningkatkan akurasi dan keandalan pada sistem *tracking* roket balistik. Data dari masing-masing *receiver* GPS akan dipilih yang valid dan digabung dengan mikrokontroler. Data yang telah dikumpulkan dihitung nilai rata-ratanya kemudian dikirim menggunakan radio telemetri ke stasiun peluncuran. Hasil percobaan dengan prototipe menunjukkan terjadi penurunan *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk *latitude* sekitar 30% dan *longitude* sekitar 30%, sedangkan untuk *altitude* sekitar 40%. Penempatan antena GPS pada posisi empat arah yang berbeda meningkatkan reliabilitas dan performa *receiver*.

Kata kunci: *GPS konsumen, Multipel GPS, Tracking roket, Mikrokontroler*

1 PENDAHULUAN

Sistem penjejukan trayektori roket sangat penting dalam uji coba terbang roket. Sistem tersebut dapat berbasis RADAR *transponder*, Doppler *tracking*, sensor inersia (*Inertial Navigation System*, INS), dan *Global Positioning System* (GPS). RADAR *transponder* digunakan untuk mengukur jarak trayektori roket, sedangkan Doppler radio digunakan

untuk mengukur kecepatan roket secara langsung. Sensor inersia digunakan untuk mengukur percepatan translasi dan kecepatan sudut roket, dan dapat dikonversikan menjadi trayektori roket (Wahyu Widada, 2012; Wahyu Widada, 2013; David Törnqvist, 2010). Masing-masing sistem tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan. GPS telemetri telah digunakan untuk sistem penjejukan

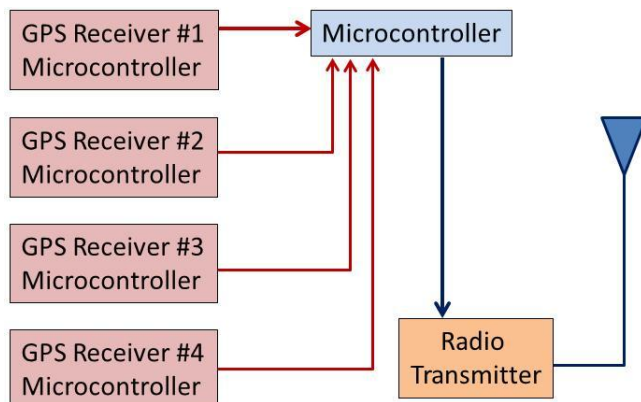
3D pada setiap uji terbang roket balistik di stasiun Pameungpeuk Jawa Barat. Sistem ini telah digunakan LAPAN dalam ujicoba terbang roket-roketnya sejak dua dekade terakhir ini. Akan tetapi sistem ini mempunyai beberapa masalah, seperti deteksi maksimum ketinggian hanya sampai 18 km dari permukaan air laut, kecepatan maksimum hingga 515 m/detik dan percepatan maksimum kurang dari 4 g ($4 \times 9.8 \text{ m/s}^2$). Untuk penjejak roket dengan ketinggian di bawah maksimum masih dapat dilakukan dengan GPS komersial tersebut. Hal lain yang sering terjadi adalah signal GPS yang kurang baik diterima pada antena yang ditempatkan di *nose-cone* roket. Beberapa metode dengan cara menggunakan tipe *blade* antena yang dipasang pada bodi roket (Montenbruck O. et al., 2000; Markgraf M., 2001). Akurasi data GPS tipe komersial mempunyai variasi sekitar 20 meter, sehingga masih perlu ditingkatkan. Untuk mengatasi beberapa problem tersebut di atas, maka perlu dikembangkan metode untuk meningkatkan akurasi dan keandalannya, sehingga keberhasilan uji perluncuran roket yang membutuhkan biaya sangat besar dapat diatasi. Secara umum pengukuran dengan menggunakan beberapa sensor dapat meningkatkan akurasi dan keandalannya dengan mengkombinasikan data-data tersebut. Jika menggunakan sensor GPS lebih dari satu maka kemungkinan dapat sinyal satelit akan lebih banyak dan data multi sensor tersebut dapat dihitung nilai rata-rata

supaya lebih akurat. Metode ini selain dapat diaplikasikan untuk roket, juga dapat digunakan untuk penjejak pesawat udara tanpa awak atau UAV.

Tulisan ini membahas metode penggabungan empat buah penerima GPS untuk aplikasi roket, agar kehandalan sinyal dan akurasi menjadi lebih meningkat. Proses penggabungan dilakukan dengan menggunakan lima buah mikrokontroller, empat buah untuk memproses data masing-masing sensor secara parallel dan sebuah mikrokontroller untuk menggabungkan keempat data GPS tersebut dan dikirim melalui radio telemetri. Proses yang dilakukan dalam penggabungan ini adalah memilih data yang valid dan menghitung nilai rata-ratanya (*latitude*, *longitude*, *altitude*) sebagai posisi 3D roket. Posisi trayektori dari hasil kombinasi keempat penerima GPS tersebut kemudian dipancarkan melalui radio *transmitter* secara kontinyu dan diterima di stasiun pengamat.

2 METODE KOMBINASI 4 GPS

Skema penggabungan 4 buah penerima GPS dapat dilihat pada Gambar 2-1. Sistem ini terdiri dari empat buah penerima GPS dan empat buah mikrokontroller untuk *parsing* atau pemotongan data, yaitu *latitude*, *longitude*, dan *altitude*, pada waktu yang bersamaan. Kemudian masing-masing mikrokontroller mengirim data ke sebuah mikrokontroller utama untuk menggabungkan menjadi nilai rata-rata posisi.

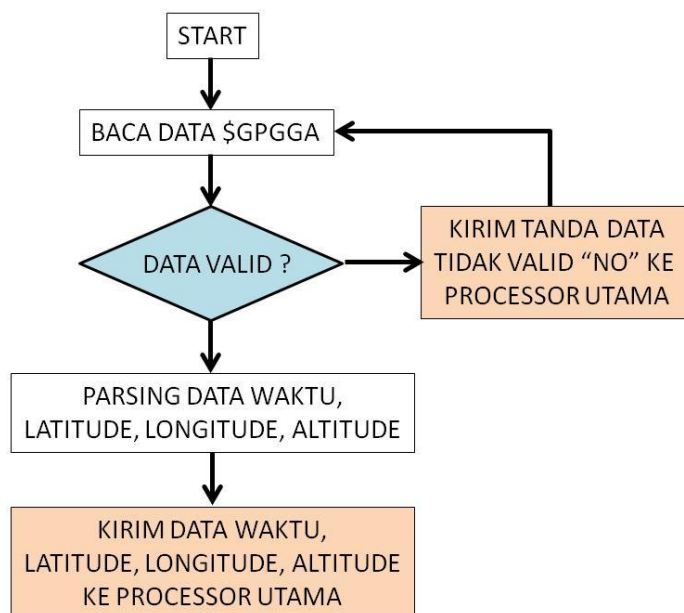


Gambar 2-1: Bagan metode kombinasi multi GPS receiver untuk muatan roket balistik

Skema algoritma pemrosesan data masing-masing GPS dapat dilihat pada Gambar 2-2. Mikrokontroller membaca data GPS dengan format '\$GPGGA,..' jika data terbaca valid. Penentuan validitas data dengan cara membaca jumlah satelit yang dapat diterima (lebih dari 3 buah satelit) (www.atmel.com, 2014). Langkah berikutnya adalah memilih data waktu, *latitude*, *longitude*, dan *altitude*. Data tersebut kemudian dikirim ke mikrokontroller utama melalui komunikasi serial. Jika data GPS tidak valid atau jumlah sinyal satelit yang diterima kurang dari 4 buah, maka data yang dikirim adalah karakter 'NO', hal ini sebagai tanda bahwa GPS yang sedang dibaca tidak dapat menghitung posisi dengan tepat. Empat

buah mikrokontroller digunakan untuk memproses algoritma tersebut. Dari keempat data ini kemudian dikirim secara bergantian ke mikrokontroller utama melalui serial data dengan kecepatan 115 kbps, sehingga dalam waktu kurang dari satu detik data telah terkirim semuanya.

Contoh pemotongan data GPS dengan format \$GPGGA adalah seperti pada Gambar 2-3. Informasi yang dibaca hanya meliputi 3 buah data, koordinat *latitude*, koordinat *longitude*, jumlah satelit, dan ketinggian roket atau *altitude*. Pada awal data ditambah dengan penomoran GPS, jika nomor satu menjadi "\$GPS1" dan diakhir jika data valid ditambah kata "YES".



Gambar 2-2: Algoritma mikrokontroller untuk membaca data masing-masing 4 GPS receiver

Format data GPS NMEA-0183

\$GPGGA,172814.0,3723.46587704,N,12202.26957864,W,2,6,1.2,18.893,M,-25.669,M,2.0,0031*4F

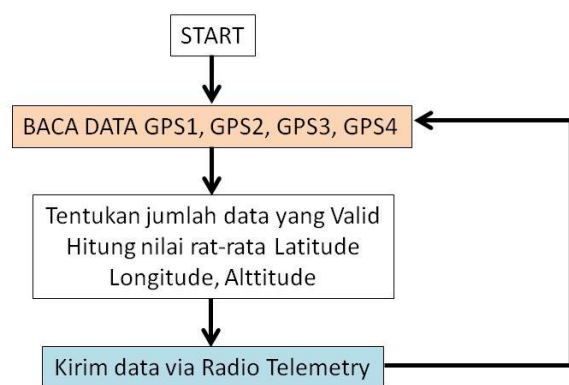


Format baru

\$GPS1,3723.46587704,12202.26957864,18.893,YES

Gambar 2-3: Pemotongan format data GPS tipe GPGGA menjadi informasi yang diperlukan saja (Nomor GPS, *latitude*, *longitude*, jumlah satelit, *altitude*, validitas). (www.atmel.com, 2014)

Algoritma mikrokontroller utama dapat dilihat pada Gambar 2-4. Melalui komunikasi data serial pada **port** no 1, 2, 3, dan 4, maka data ke empat GPS dibaca, kemudian menghitung jumlah data yang valid, setelah itu juga menghitung nilai rata-rata dan dikirim melalui radio telemetry. Kecepatan transfer data antar mikrokontroller adalah 115 Kbps, sedangkan kecepatan kirim data radio telemetry minimal 9600 bps. Data yang diterima di *ground station* akan disimpan dan ditampilkan secara *realtime*.



Gambar 2-4: Algoritma mikrokontroller utama untuk memproses dan mengirim ke radio telemetry

Mikrokontroller utama ini membaca dan menghitung nilai rata-rata data yang valid untuk posisi *latitude* dengan rumus sebagai berikut.

$$Lat = \frac{\sum_{i=1}^N Lat_i}{N} \quad (2-1)$$

Disini *i* adalah data valid dan *N* adalah jumlah data yang valid. Sedangkan untuk perhitungan koordinat *longitude* dengan persamaan berikut.

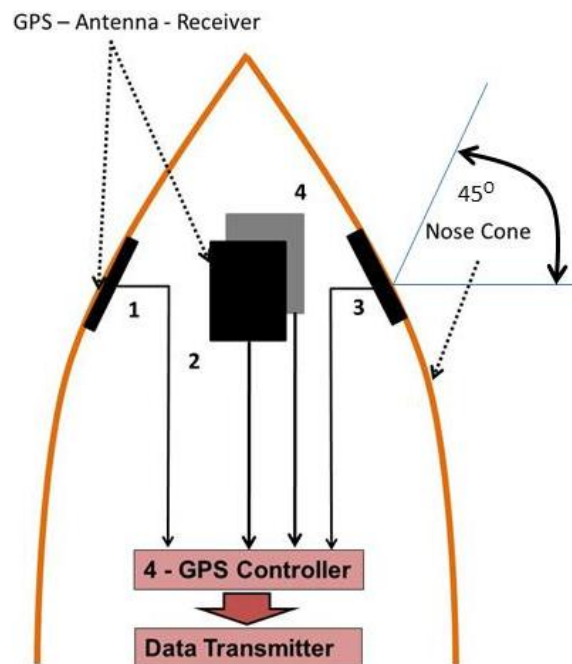
$$Lon = \frac{\sum_{i=1}^N Lon_i}{N} \quad (2-2)$$

Untuk ketinggian data GPS atau *altitude* dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$Alt = \frac{\sum_{i=1}^N Alt_i}{N} \quad (2-3)$$

Pemrograman mikrokontroller untuk semua algoritma di atas yang digunakan adalah berbasis Basic yaitu Bascom-AVR (www.atmel.com, 2014). Dari data tiga

dimensi di atas, maka trayektori roket dapat dideteksi dengan menggunakan empat buah penerima GPS yang dikombinasikan menjadi satu buah data. Metode ini dapat meningkatkan tingkat keberhasilan dan akurasi koordinat yang dihitung. Keempat penerima GPS ini dapat ditempatkan di dalam tabung roket, sedangkan masing-masing antenna sebaiknya ditempatkan di *nose-cone* roket dengan penempatan seperti terlihat pada Gambar 2-5.



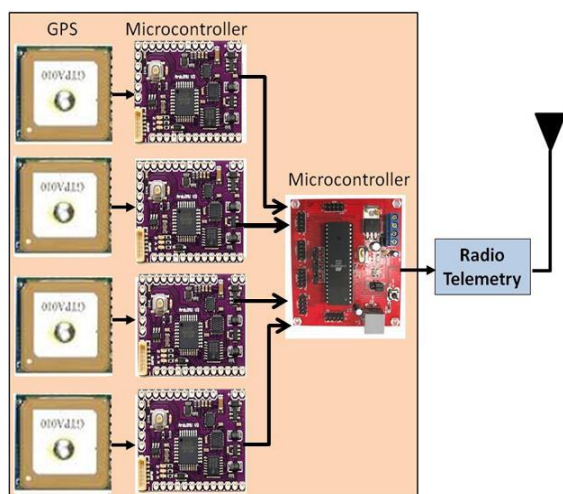
Gambar 2-5: Skema penempatan 4 buah antenna GPS-receiver di *nose-cone* roket balistik

Empat arah (sudut 45°) antenna GPS ini memungkinkan salah satu antenna dapat menangkap sinyal satelit dengan mudah. Pada saat terjadi putaran pada roket, salah satu antenna pada posisi yang optimal. Metode ini belum diaplikasikan pada uji peluncuran roket, tetapi telah diujicoba dengan menggunakan prototipe yang akan dijelaskan pada bab 3 berikut.

3 HASIL PERCOBAAN DAN ANALISA

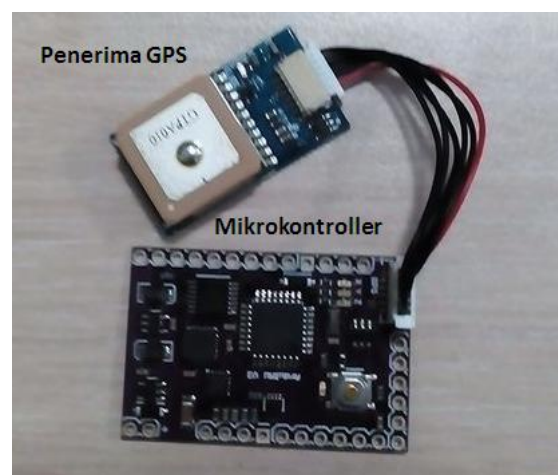
Percobaan dilakukan untuk menguji algoritma dan performa sistem kontrol beberapa penerima GPS. Konfigurasi prototipe yang digunakan adalah seperti pada Gambar 3-1 berikut,

yang terdiri dari empat buah penerima GPS dengan masing-masing kontroller dan sebuah kontroller utama. Tipe GPS yang digunakan adalah MediaTek-MT3329, sedangkan tipe mikrokontroller yang digunakan adalah modul ATmega328 dari Atmel (www.sparkfun.com, 2014; http://www.trimble.com/OEM_Receiver_Help/V4.44/en/NMEA-0183messages_MessageOverview.html, 2014). Masing-masing kontroller digunakan untuk membaca data posisi GPS dan data informasi validitasnya, sedangkan kontroller utama digunakan untuk membaca informasi valid dan data posisi masing-masing GPS, kemudian menghitung nilai rata-rata posisinya. Saat uji terbang data posisi hasil perhitungan kemudian dikirim ke *ground station* dengan menggunakan radio telemetry.



Gambar 3-1: Konfigurasi empat buah penerima GPS dan mikrokontroler

Pada percobaan kali ini, pengiriman data tidak melalui radio, tetapi melalui kabel RS232 langsung ke PC untuk direkam. Prototipe penerima GPS dan modul mikrokontroller yang digunakan pada percobaan adalah seperti terlihat pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2: Prototipe penerima GPS dan mikrokontroler untuk ujicoba

Contoh data posisi GPS dan jumlah satelit yang diterima adalah seperti pada Tabel 3-1. Jumlah satelit lebih dari empat buah menandakan GPS dapat menerima sinyal satelit dan valid untuk menghitung posisinya dalam koordinat 3 dimensi. Jumlah satelit yang dibaca tergantung kualitas sinyal yang diterima, seperti perubahan arah sudut antena. Menurut spesifikasi alat, dalam posisi diam nilai koordinat posisi bervariasi dalam jarak sekitar 15 meter hingga 30 meter.

Tabel 3-1: PERCOBAAN POSISI SEBUAH GPS PADA TITIK DIAM

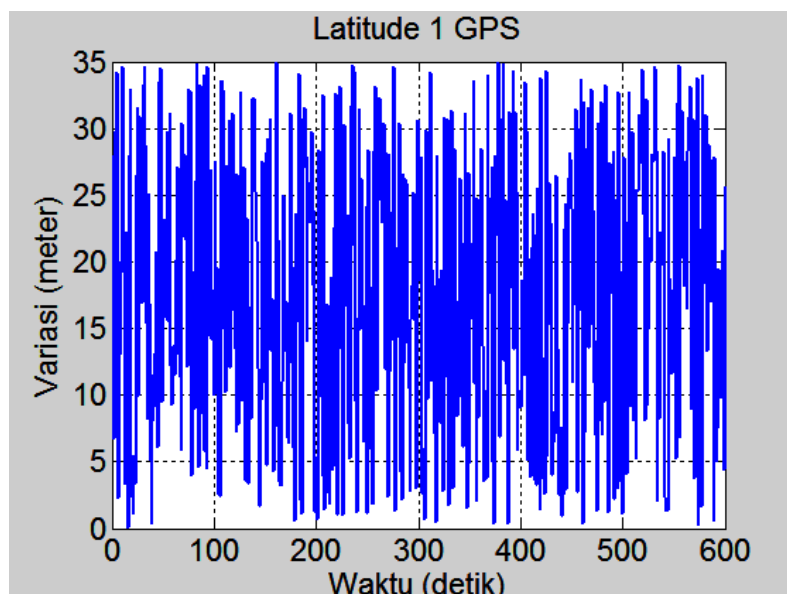
Time	Latitude (deg)	Longitude (deg)	Altitude (m)	Sattelite
04:39:58	-6.57270387	106.78747748	338.29	6
04:40:48	-6.57271736	106.78747625	333.39	4
04:41:45	-6.57247925	106.78751731	230.10	4
04:42:30	-6.57241425	106.78747672	309.10	6
04:43:51	-6.57272868	106.78777223	407.39	6
Rata-rata	-6.5726	106.7875	323.65	5

Jika digambar selama 600 detik, maka variasi koordinat *latitude* GPS adalah seperti Gambar 3-3. Terlihat adanya variasi dari hingga sekitar 30 meter pada posisi diam.

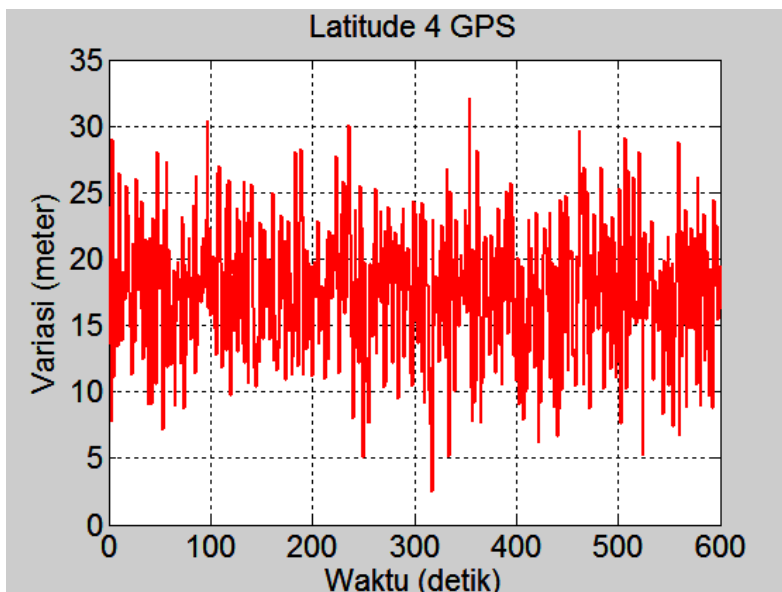
Sedangkan jika menggunakan empat buah penerima GPS, maka nilai variasi *latitude* menjadi berkurang sekitar 30 %, atau maksimum variasi sekitar 15 meter, seperti terlihat pada Gambar 3-4 berikut. Untuk data *longitude* juga mengalami hal yang sama (Gambar 3-5 dan Gambar 3-6), jika

hanya menggunakan sebuah penerima GPS maka variasi sekitar 30 meter dan jika menggunakan empat buah penerima GPS maka variasi maksimum hanya sekitar 15 meter.

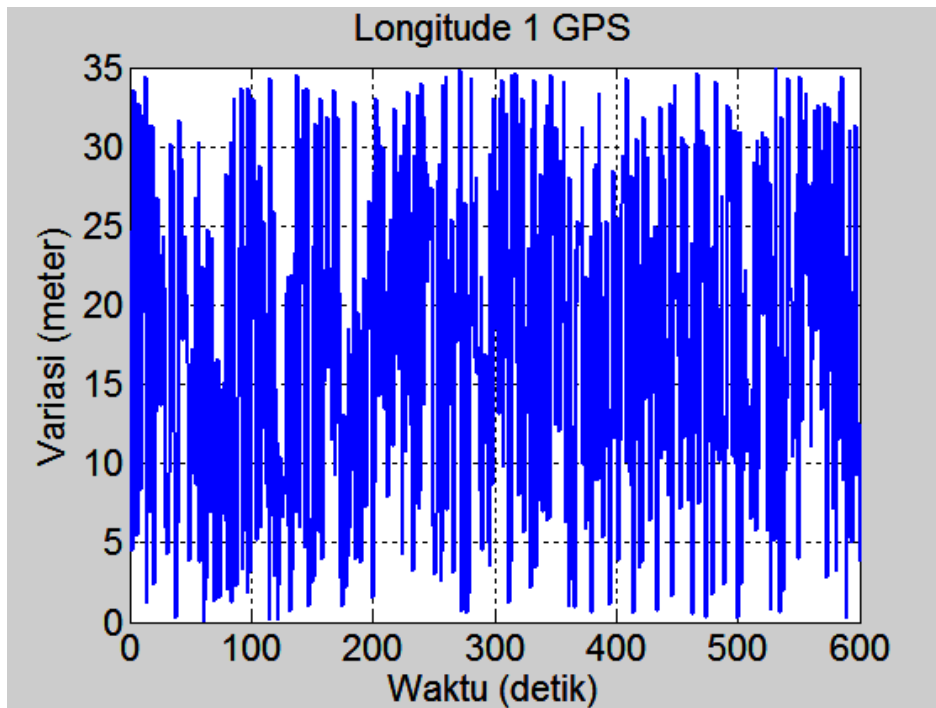
Beberapa hal yang dapat mempengaruhi keakuratan GPS ini adalah adanya waktu tunda sinyal radio oleh lapisan *ionosphere*, adanya pantulan sinyal oleh obyek sekeliling, *clock error* pada alat penerima, posisi sudut satelit yang tidak optimal (www.gpspassion.com, 2014).



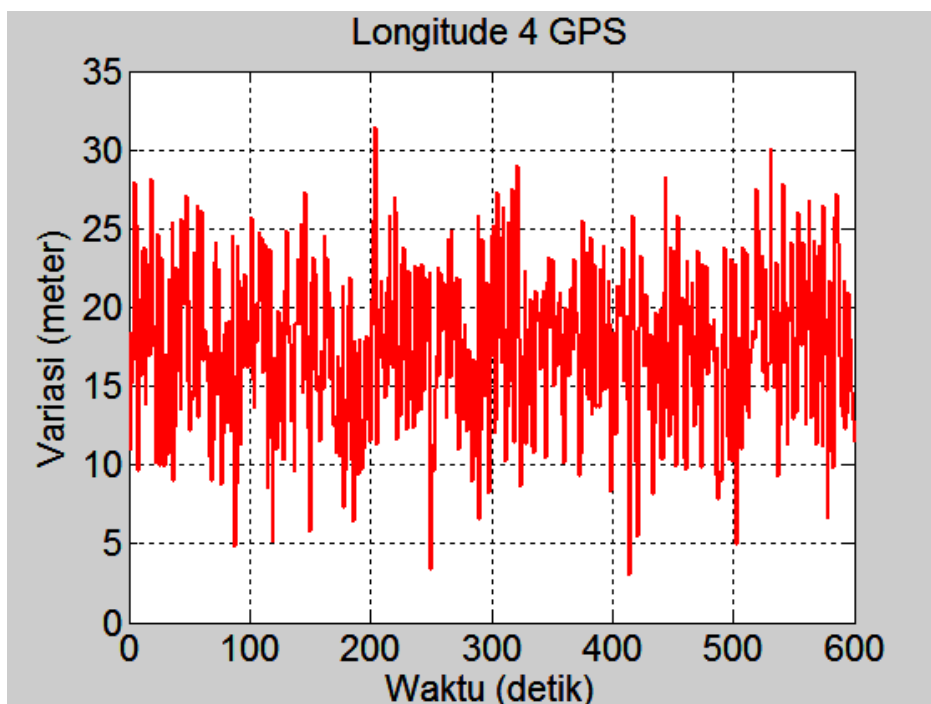
Gambar 3-3: Variasi data *latitude* dengan menggunakan satu buah GPS



Gambar 3-4: Variasi data *latitude* menggunakan empat buah penerima GPS



Gambar 3-5: Variasi data *longitude* dengan menggunakan satu buah penerima GPS



Gambar 3-6: Variasi data *longitude* menggunakan kombinasi empat buah penerima GPS

Berdasarkan pengaruh yang bermacam-macam tersebut, maka aplikasi metode kombinasi beberapa penerima GPS ini menjadi sangat penting untuk mendapatkan data akurat yang sangat vital untuk sistem kendali roket atau UAV. Ketinggian dari data

GPS ini sangat penting untuk kontrol seperti *auto landing* atau *auto take off* pada UAV. Data ketinggian GPS dan altimeter *ultrasonic* sensor dapat dikombinasikan juga untuk sistem tersebut agar lebih akurat (Xusheng Lei et al.).

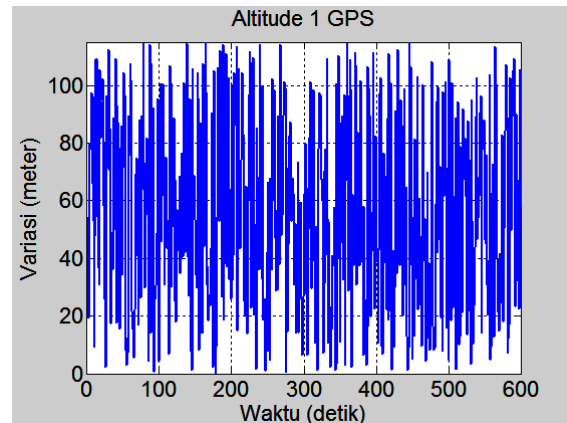
Untuk data *altitude*, seperti terlihat pada Gambar 3-7, variasi ketinggian sekitar 100 meter, sedangkan dengan menggunakan empat buah penerima GPS variasi berkurang hingga sekitar 60 meter, dengan demikian terjadi peningkatan akurasi hingga 40 persen.

Akurasi ketinggian penerima GPS ini tergantung pada lokasi, oleh karena itu perlu pengujian dengan cara mengukur pada posisi yang sama dalam jangka waktu yang lama, misal dalam satu hari. Dari pengukuran tersebut akan diperoleh batas variasi kesalahan data ketinggian yang terukur baik dalam waktu pendek maupun waktu yang lama. *Root Mean Square Error* (RMSE) adalah ukuran yang sering digunakan perbedaan antara nilai-nilai diprediksi oleh model dan nilai-nilai benar-benar diamati dari lingkungan yang sedang dimodelkan. Parameter RMSE ini berasal dari model prediksi dan variabel estimasi X_{model} didefinisikan sebagai akar kuadrat dari kuadrat kesalahan rata-rata:

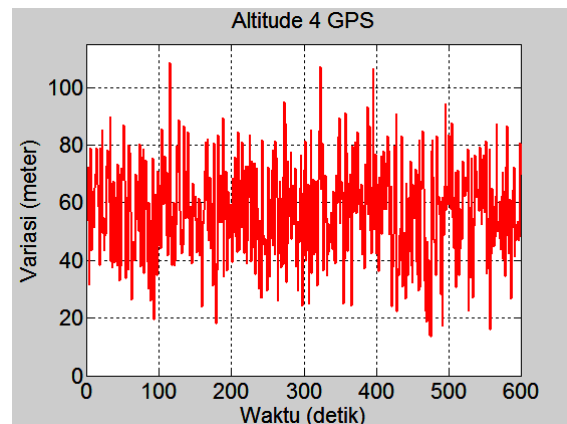
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obsi} - X_{statisi})^2}{n}} \quad (3-1)$$

disini X_{obs} adalah nilai *realtime* data dan X_{statis} adalah nilai referensi saat *sampling* waktu i dengan mengambil nilai rata-rata posisi diam. Perbedaan

nilai *RMSE* untuk satu dan empat buah GPS dapat dilihat pada Tabel 3-2.



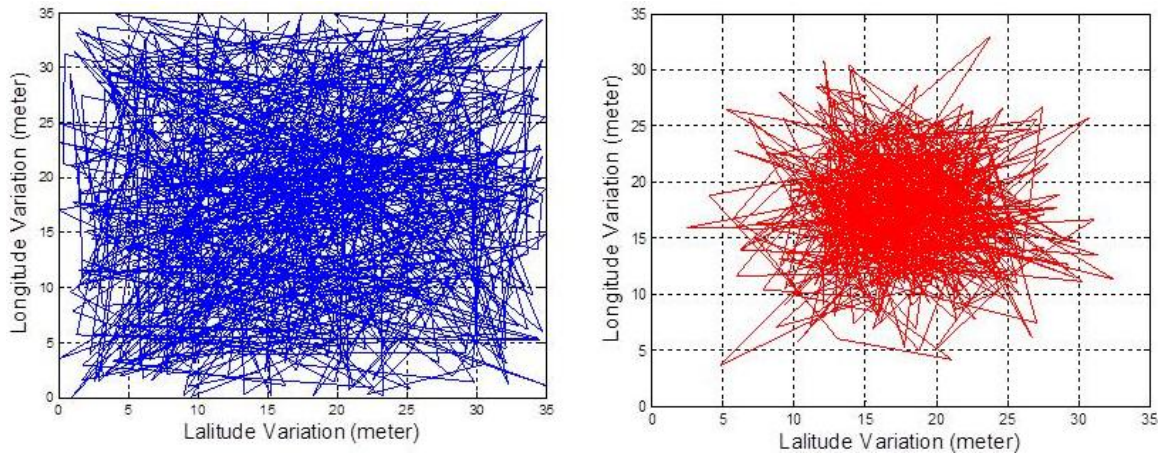
Gambar 3-7: Variasi data ketinggian satu buah penerima GPS



Gambar 3-8: Variasi data ketinggian menggunakan kombinasi empat buah penerima GPS

Tabel 3-2: PERCOBAAN POSISI PENERIMA GPS PADA TITIK DIAM

Parameter	RMSE 1 GPS	RMSE 4 GPS	Penurunan RMSE %
Latitude (deg)	2.4802e-004	7.4405e-005	30.1
Longitude (deg)	1.2331e-004	3.6999e-005	29.9
Altitude (m)	57.8301	23.1921	40.1



Gambar 3-9: Variasi posisi (*latitude*, *longitude*) dengan 1 dan 4 buah penerima GPS

Jika digambarkan dengan menggunakan koordinat dua dimensi, maka variasi posisi penerima GPS dalam keadaan diam seperti terlihat pada Gambar 3-9.

Nilai hasil percobaan ini akan berubah-ubah pada setiap kali percobaan, akan tetapi nilai tersebut masih pada kisaran nilai yang konstan. Hal ini disebabkan oleh kualitas sinyal satelit dan pengaruh dari keadaan *atmosphere* yang berubah mempengaruhi kualitas sinyal yang diterima.

4 KESIMPULAN

Telah dikembangkan metode kombinasi 4 buah penerima GPS dan radio telemetri untuk penjejak roket. Mikrokontroler digunakan untuk menentukan data yang valid dan menggabungkan menjadi data rata-rata posisi dan dikirim via radio telemetri. Dibanding dengan hanya menggunakan satu buah penerima GPS, sistem ini menjadi lebih andal dan lebih akurat sekitar 30% untuk *latitude* dan *longitude*, serta 40% untuk *altitude*. Kekhawatiran posisi antena yang kurang bagus saat terbang maupun masih di *launching pad* dapat direduksi dengan penggunaan empat buah antena yang terintegrasi pada *receiver*. Sistem ini cocok untuk tipe roket minimal ukuran RX200 hingga tipe RX550 untuk penempatan empat buah penerima GPS, serta cocok untuk aplikasi pesawat terbang tanpa awak UAV. Metode ini akan diusulkan untuk

diaplikasikan pada uji terbang roket tipe RX450 atau RX550.

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya ucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada Bidang Kendali Pustekroket LAPAN yang telah mendukung penyediaan penerima GPS, sehingga percobaan pada penelitian ini dapat dilakukan dengan baik.

DAFTAR RUJUKAN

- David Törnqvist, Anders Helmersson, Fredrik Gustafsson, 2010. *Tight Integration Between IMU and GPS for Sounding Rockets*, Technical Report Department of Electrical Engineering Linköpings universitet SE-581 83 Linköping, Sweden Feb 2010.
- http://www.trimble.com/OEM_Receiver_Help/V4.44/en/NMEA-0183_messages_MessageOverview.html. (2 Mei 2014).
- J. Ryu and J. C. Gerdes, 2004. *Integrating Inertial Sensors with Global Positioning System (GPS) for Vehicle Dynamics Control*, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, vol. 126, no. 2, pp. 243-254, (Pubitemid 40122672).
- Markgraf M., Montenbruck O., Hassenpflug F., 2001. *A Flexible GPS Antenna Concept for Sounding Rockets*, DLR-GSOC TN 01-04; Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen.

- Montenbruck O., Enderle W., Schesny M., Gabosch V., Ricken S., Turner P.; 2000. *Position-Velocity Aiding of a Mitel ORION Receiver for Sounding-Rocket Tracking*, ION GPS 2000 Conference, Salt Lake City, 19-22 Sept., 2000.
- Wahyu Widada, 2012. *Metode Doppler radio untuk Mengukur Kecepatan Roket RX200*, Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol.10 No.2 Desember 2012.
- Wahyu Widada, 2013. *Tracking Roket RX122 Menggunakan Stasiun Tunggal RADAR Transponder*, Prosiding Seminar CITEE Yogyakarta UGM.
- www.atmel.com (2 Mei 2014).
- www.gpspassion.com (2 Mei 2014).
- www.sparkfun.com (2 Mei 2014).
- Xusheng Lei et al., 2012. *An Adaptive Altitude Information Fusion Method for Autonomous Landing Process of Small UAV*", Sensors 2012, 12, 13212-13224.