

Perancangan dan Implementasi Kalman Filter pada Sistem Estimasi Posisi Roket Elektrik

Design and Implementation of Kalman Filter in Electric Rocket Position Estimation System

Rizqi Gunawan^{1*}, Didit Andri Jatmiko²

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Komputer Indonesia
Jl. Dipati ukur No 112, Bandung, Indonesia 40132

²Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Komputer Indonesia
Jl. Dipati Ukur No. 112 – 116, Bandung, Indonesia 40132
Email: refindafazar@mahasiswa.unikom.ac.id

Abstrak – Kompetisi Muatan Roket Indonesia (KOMURINDO) merupakan kompetisi yang diselenggarakan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). Salah satu kategori pada kompetisi ini adalah Wahana Sistem Kendali, kategori ini memiliki tema Perancangan wahana dengan sistem propulsi *Electric Ducted Fan* (EDF) dan sistem kendali untuk mencapai sasaran secara horizontal. Wahana roket EDF dirancang agar dapat meluncur dari rel *launcher* secara *autonomous* menuju target selebar 25m dengan jarak sejauh 200m. Oleh karena itu diperlukan sistem estimasi posisi yang akurat pada system navigasi berbasis *waypoint*. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi data posisi dengan menggunakan algoritma Kalman Filter dan *multi-receiver Global Navigation Sattelite System* (GNSS) untuk menestimasi posisi roket EDF. Pada penelitian ini digunakan dua buah penerima GNSS dengan jenis yang sama dengan menerapkan algoritma Kalman Filter untuk menggabungkan data tersebut. Implementasi sistem pada roket elektrik juga mempertimbangkan pengaruh berat terhadap titik *center of gravity* roket dan ukuran ruang *payload*. Pengujian sistem estimasi posisi dilakukan diarea terbuka dengan membawanya pada garis referensi sejauh 200 meter yang telah diketahui nilai koordinatnya. Berdasarkan data dalam beberapa kali percobaan kemudian membandingkan hasil *trajectory* dapat disimpulkan bahwa sistem estimasi posisi ini mampu meningkatkan akurasi data sebesar 3 - 30%.

Kata kunci : Navigasi, GNSS, *Waypoint*, Kalman Filter, *Autonomous*.

Abstract - Kompetisi Muatan Roket Indonesia (KOMURINDO) is an competition organized by Indonesian National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN). One of the categories of the competition is the Wahana Sistem Kendali, this category has the theme “The design of electric rocket with an *Electric Ducted Fan* (EDF) propulsion system and control system to reach target horizontally”. In this category each participant need to design an electric rocket using EDF propulsion system that can take off autonomously from launcher rail to reach the target 25m wide 200m away from launcher. Because of that electric rocket must have accurate position estimation system. Navigation system based on *waypoint* needed to guide electric rocket fly to the target. This paper aims is to create a position estimation system using multi GNSS receiver and Kalman Filter algorithm to increase accuracy and precission of position data. In this paper, two same GNSS receiver is used. Implementation of the position estimation system considering its weight effect to electric rocket center of gravity and size of payload room. Position estimation system is tested in wide open area, the system is carried from start point of reference line 200 meter away from start. The reference line coordinates data is taken from google maps with distance between coordinates is 1 meter. Based on the experimental data, concluded that position estimation system increase accuracy of data by 3-30%.

Keyword : Navigation, GNSS, *Waypoint*, Kalman Filter, *Autonomous*.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Roket elektrik adalah suatu inovasi di bidang roket yang dikembangkan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). Roket elektrik dirancang untuk dapat mencapai sasaran secara horizontal yang telah diketahui koordinat *latitude* dan *longitudenya*. Prinsip kerja roket elektrik mirip dengan peluru kendali jelajah (rudal jelajah). Roket elektrik menggunakan sistem propulsi *electric ducted fan* (EDF) sebagai pengganti Pada roket elektrik ini dilengkapi dengan sistem kendali aktif yang dapat mengendalikan roket saat terbang secara *autonomous*. Roket elektrik ini cenderung lebih mudah dikendalikan karena kecepatan terbangnya yang rendah. Roket elektrik memanfaatkan perbedaan tekanan udara pada *fin* untuk dapat bergerak bebas diudara [1]. Kunci dari keberhasilan misi yang baik terdapat pada sistem navigasinya. Sistem navigasi pada roket elektrik berbasis pada *waypoint*. Dalam bernavigasi secara *autonomous* dibutuhkan estimasi posisi yang baik sebagai arahan. Penerima *Global Navigation Satellite System* (GNSS) adalah perangkat sensor yang dapat digunakan untuk menentukan posisi secara global. Selain digunakan untuk bernavigasi, data GNSS juga digunakan sebagai log terbang roket elektrik. Bagaimanapun, akurasi pengukuran pada sensor GNSS bergantung pada kondisi alam sekitar. Kesalahan pengukuran pada GNSS dapat mengakibatkan gagalnya misi pada roket elektrik.

GNSS komersil memiliki akurasi data posisi sekitar 5 sampai 10 meter, Tingkat akurasi tersebut tidak cocok digunakan pada roket elektrik karena perubahan orientasi yang dialami sehingga masih perlu ditingkatkan [2]. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dikembangkan suatu sistem yang dapat meningkatkan akurasi data posisi. Sehingga tingkat keberhasilan uji peluncuran roket elektrik semakin besar. Teknik penggabungan data dari beberapa sensor dapat menjadi solusi untuk meningkatkan akurasi data posisi [3]. Pada beberapa penelitian sebelumnya, data GNSS digabungkan dengan data sensor navigasi inersia menggunakan Kalman Filter untuk mengestimasi posisi [4,5]. Penelitian lainya menghitung nilai rata rata yang didapatkan daripengukuran beberapa penerima GNSS. Penelitian ini akan membahas perancangan algoritma sistem estimasi posisi, pengujian, dan analisis. Tujuan pada penelitian ini adalah penggabungan data multi sensor

menggunakan Kalman Filter untuk meningkatkan akurasi data posisi.

B. State of Art Penelitian

Pada roket elektrik, sistem estimasi posisi yang digunakan sebelumnya data posisi bergantung pada satu buah penerima GNSS. Beberapa penelitian lainya algoritma Kalman Filter digunakan untuk menggabungkan data sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) dan GNSS untuk menentukan posisi yang lebih baik [6].

Sistem tersebut memiliki kelemahan, salah satunya ketika terjadinya kegagalan pembacaan pada penerima GNSS dapat menyebabkan roket elektrik tidak dapat lepas landas. Pada penelitian ini digunakan dua penerima GNSS. Posisi roket elektrik akan diestimasi terlebih dahulu menggunakan Kalman Filter sebelum digunakan pada sistem navigasi. Kelebihan sistem ini adalah adanya cadangan sensor GNSS saat terjadi kegagalan pembacaan pada salah satu sensor. Sistem ini disesuaikan dengan keterbatasan ukuran ruang *payload* dan berat total roket elektrik.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah penggabungan data multi sensor menggunakan Kalman Filter untuk meningkatkan akurasi data posisi.

D. Sistematika Penulisan

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai perancangan sistem estimasi posisi. Bagian metodologi akan membahas mengenai perancangan secara perangkat keras dan lunak dari sistem, terdapat pula perancangan algoritma sistem estimasi posisi. Pada bagian hasil akan berisikan informasi pengujian sistem estimasi posisi dan keberhasilan. Bagian kesimpulan akan membahas kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.

II. METODOLOGI

A. Global Navigation Satellites System (GNSS)

Global Navigation Satellites System adalah sistem konstelasi satelit yang dapat digunakan untuk menentukan posisi pada permukaan bumi secara global. Pada umumnya pada satu sistem konstelasi satelit terdiri dari 24 buah satelit. Sistem konstelasi satelit yang aktif pada saat ini adalah

Global Positioning System (GPS) yang dikelola oleh Amerika Serikat, Global Navigation Satellite System (GLONASS) yang dikelola oleh Rusia, BeiDou Navigation Satellite System (BDS) yang dikelola oleh China, dan Galileo yang dimiliki dan dikelola oleh Uni Eropa

Dalam penggunaannya sensor GNSS akan menerima sinyal-sinyal satelit, kemudian dikalkulasikan oleh perangkat penerima menjadi suatu informasi baik itu koordinat *longitude* dan *latitude*, ketinggian, dan waktu[7]. Selain itu, dari informasi yang didapatkan dapat dihitung kecepatan perpindahan sensor berdasarkan hubungan waktu dan jarak pergerakan[8]. Berikut ini adalah penerima GNSS komersil yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan di **Gambar 1**.



Gambar 1 Penerima GNSS komersil (u-blox.com/en/product/neo-m8-series)

Penerima GNSS yang digunakan adalah GNSS komersil berjenis U-blox M8N. Penerima GNSS ini mampu menerima sinyal satelit dari dua sistem konstelasi satelit yang berbeda. U-blox M8N dapat mengirimkan hasil pengukuran posisi dengan frekuensi maksimal sebesar 10 Hz[9].

B. Kalman Filter

Kalman Filter pada penelitian ini berperan sebagai algoritma penggabungan data sensor untuk mengestimasi posisi [10,11]. Jenis Kalman Filter yang digunakan adalah *Extended Kalman Filter* (EKF). Proses estimasi menggunakan Kalman Filter dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama akan dilakukan prediksi nilai *state* berdasarkan posisi pada waktu sebelumnya. Tahap selanjutnya, hasil prediksi *state* akan dikoreksi menggunakan hasil pembacaan sensor saat ini. Kalman Filter dapat dituliskan dalam persamaan matematis sebagai berikut.

$$\hat{x}_k = A\hat{x}_{k-1} + w_k \tag{1}$$

$$P_k = AP_{k-1}A^T + Q \tag{2}$$

Pada persamaan (1) dan (2) variabel *k* menyatakan waktu saat ini. Variabel \hat{x}_k menyatakan *state vector* saat waktu *k*. Matrix *A* adalah matrix transisi sedangkan w_k adalah proses noise. Variabel P_k merupakan matrix kovariansi dari *state vector*. *Q* merupakan nilai kovariansi dari proses noise. Nilai pada matrix *Q* berpengaruh pada hasil estimasi agar tetap berada dekat pada nilai aslinya.

$$G_k = P_k C^T (C P_k C^T + R)^{-1} \tag{3}$$

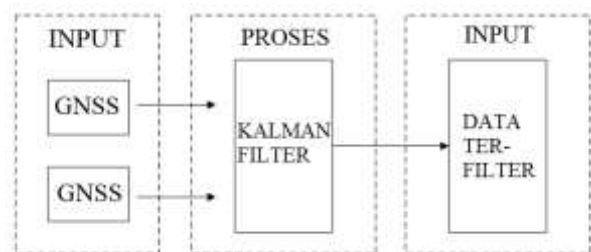
$$\hat{x}_k \leftarrow \hat{x}_k + G_k (z_k - C \hat{x}_k) \tag{4}$$

$$P_k \leftarrow (1 - G_k C) P_k \tag{5}$$

Pada persamaan (3),(4), dan (5) G_k menyatakan Kalman gain pada saat waktu *k*. Matrix *C* merupakan konstanta yang menyatakan seberapa besar pengaruh pembacaan sensor terhadap proses estimasi. Matrix *R* berisi kovarianse noise pembacaan sensor. Variabel z_k berisi hasil pembacaan sensor saat waktu *k*.

C. Blok Diagram

Blok diagram merupakan **Gambaran** rancangan secara perangkat yang akan digunakan pada sistem estimasi posisi, blok diagram yang terdiri dari bagian masukan, proses dan keluaran. Blok diagram sistem estimasi posisi ditunjukkan di **Gambar 2**.

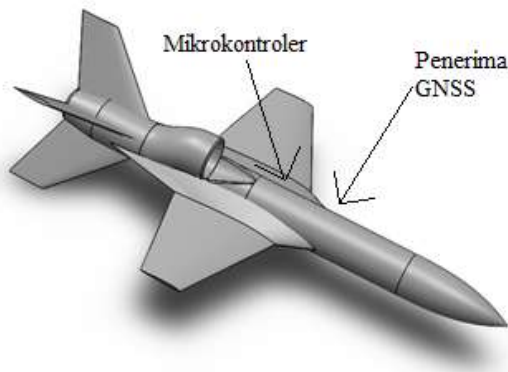


Gambar 2 Blok diagram sistem estimasi posisi

Pada penelitian ini bagian masukan terdiri dari dua buah sensor GNSS. Kemudian hasil pembacaan yang didapat dari kedua GNSS akan difilter secara langsung menggunakan Kalman Filter untuk menghasilkan satu data posisi hasil penggabungan data kedua GNSS tersebut. Data terfilter tersebut menjadi output dari sistem estimasi posisi.

D. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dimulai dengan pembuatan desain rangka roket elektrik yang dijadikan sebagai acuan dalam pembuatan rangka. Seluruh komponen elektronika yang digunakan akan diletakkan pada bagian badan roket elektrik. Perancangan roket elektrik dimulai dengan mendesain bentuk menggunakan *software* desain 3D dari wahana sebelum membuatnya langsung perancangan pada desain 3D dengan ukuran nyata dari roket elektrik yang akan dibuat, adapun desain dari roket elektrik yang dirancang dapat dilihat di **Gambar 3**.



Gambar 3 Desain 3D roket elektrik

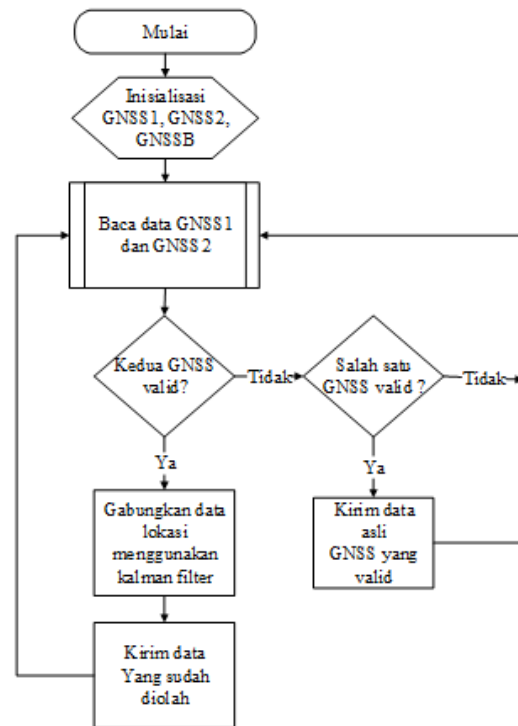
Desain roket elektrik yang dirancang memiliki panjang 120 cm dan jarak antara ujung fin ke ujung lainnya 58 cm. Ruang *payload* yang dimiliki memiliki diameter 10 cm dengan Panjang 50 cm. Peletakan komponen elektronik mempertimbangkan pada berat total roket elektrik terhadap titik *center of gravity* dan ukuran ruang *payload* yang dimiliki roket elektrik. Seluruh sistem elektronik dipasang didalam badan roket dengan harapan tidak menmpengaruhi sisi aerodinamis dan kinerja roket elektrik. Adapun bentuk asli dari roket elektrik yang dirancang dan peletakan sistem estimasi posisi yang telah dipasang dapat dilihat di **Gambar 4**.



Gambar 4 Implementasi perancangan sistem estimasi posisi pada roket elektrik

E. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada sistem yang dirancang merupakan bagian pelengkap dari sistem estimasi posisi. Pada bagian perancangan perangkat lunak ini terdiri dari algoritma utama dan algoritma pembacaan sensor GNSS. Algoritma yang dirancang akan diaplikasikan pada mikrokontroler dengan menguploadkannya melalui *personal computer* (PC). Adapun algoritma utama dari sistem ini dapat diliha di **Gambar 5**.



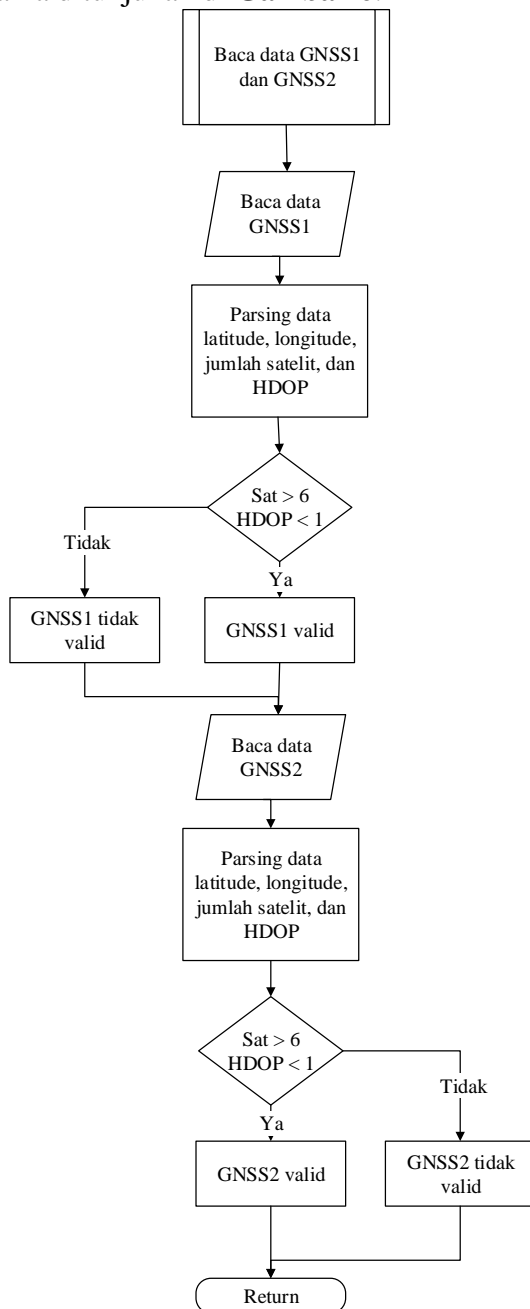
Gambar 5 Algoritma sistem estimasi posisi

Penjelasan *flowchart* sistem estimasi posisi menggunakan kalman filter dan *multi-receiver* adalah sebagai berikut.

1. Memulai program
2. Inisialisasi variabel pada GNSS1, GNSS2, dan GNSSB (data estimasi menggunakan Kalman filter) .
3. Pembacaan data dari beberapa penerima GNSS.
4. Pemilihan kondisi berdasarkan kevalidan data GNSS.
5. Jika kedua GNSS memiliki data yang valid maka proses estimasi posisi pada koordinat *latitude* dan *longitude* menggunakan kalman filter akan dilakukan.
6. Jika hanya terdapat salah satu GNSS yang valid maka data asli tersebut menjadi output sistem estimasi posisi menggunakan kalman filter dan multi GNSS.

7. Jika tidak ada data yang valid maka sistem estimasi akan terus membaca data GNSS hingga valid.
8. Pengiriman data lokasi melalui komunikasi serial ke sistem navigasi roket EDF.

Sistem estimasi posisi ini terpisah dengan sistem navigasi pada roket elektrik. Perancangan sistem estimasi posisi menggunakan kalman filter dan *multi*-GNSS pada roket elektrik, bertujuan untuk meningkatkan akurasi dan keandalan data posisi. Adapun subprogram pada algoritma utama ditunjukkan di **Gambar 6**.



Gambar 6 Algoritma pembacaan data sensor GNSS

Pertama sistem estimasi posisi menggunakan kalman filter dan multi GNSS akan mengambil data lokasi dari beberapa penerima GNSS didapatkan, data tersebut kemudian melalui proses pencuplikan informasi nilai *latitude*, *longitude*, HDOP, dan jumlah satelit. Nilai *latitude* dan *longitude* dari beberapa GNSS akan digabungkan menggunakan algoritma Kalman Filter. Jumlah satelit dan nilai HDOP dijadikan sebagai bukti validitas data yang didapat, karena jika sinyal satelit yang didapatkan berjumlah lebih dari enam dan nilai HDOP kurang dari 1 karena kondisi tersebut merupakan kondisi ideal pada suatu penerima GNSS. Setelah diproses data tersebut akan dibentuk ulang dalam format \$GNGGA kemudian dikirim menuju *flight controller* untuk digunakan dalam bernavigasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan ini akan berfokus pada pengujian program estimasi posisi menggunakan multi-GNSS dan Kalman Filter. Pengujian dilakukan dengan membawa sistem estimasi posisi pada garis referensi yang telah diketahui koordinat *latitude*



Gambar 7 Garis referensi

dan *longitudenya*. Adapun garis referensi yang digunakan dapat dilihat di **Gambar 7**.

Garis referensi ini memiliki jarak total sejauh 200 meter dengan jarak antar setiap titik koordinat sebesar 1 m. Pengujian dilakukan pada kecepatan ± 20 km/j sebanyak 10 kali percobaan.

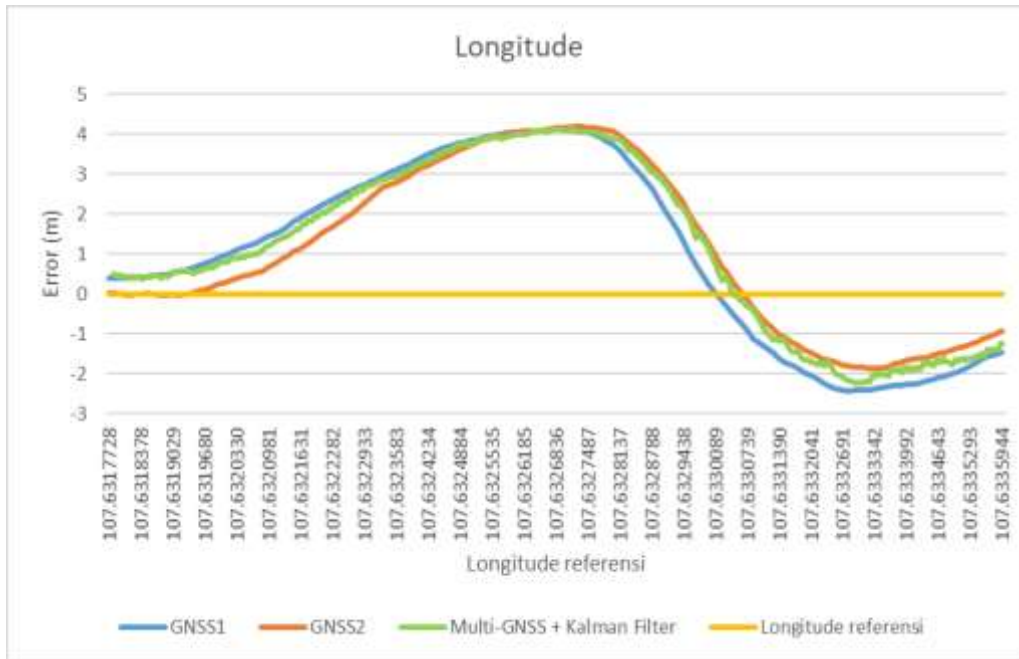
Pengujian sistem bertujuan untuk mengetahui seberapa besar peningkatan akurasi yang dihasilkan dengan menggabungkan dua penerima GNSS menggunakan Kalman Filter. Berikut ini grafik hasil salah satu pengujian dalam 10 kali uji coba pada koordinat *longitude* ditampilkan di **Gambar 8**.

Pada koordinat *longitude* GNSS1 didapatkan simpangan terjauh sebesar 4 m terhadap garis referensi dan pada GNSS2 didapatkan simpangan terjauh sebesar 4,1 m, sedangkan pada data hasil penggabungan data kedua GNSS menggunakan

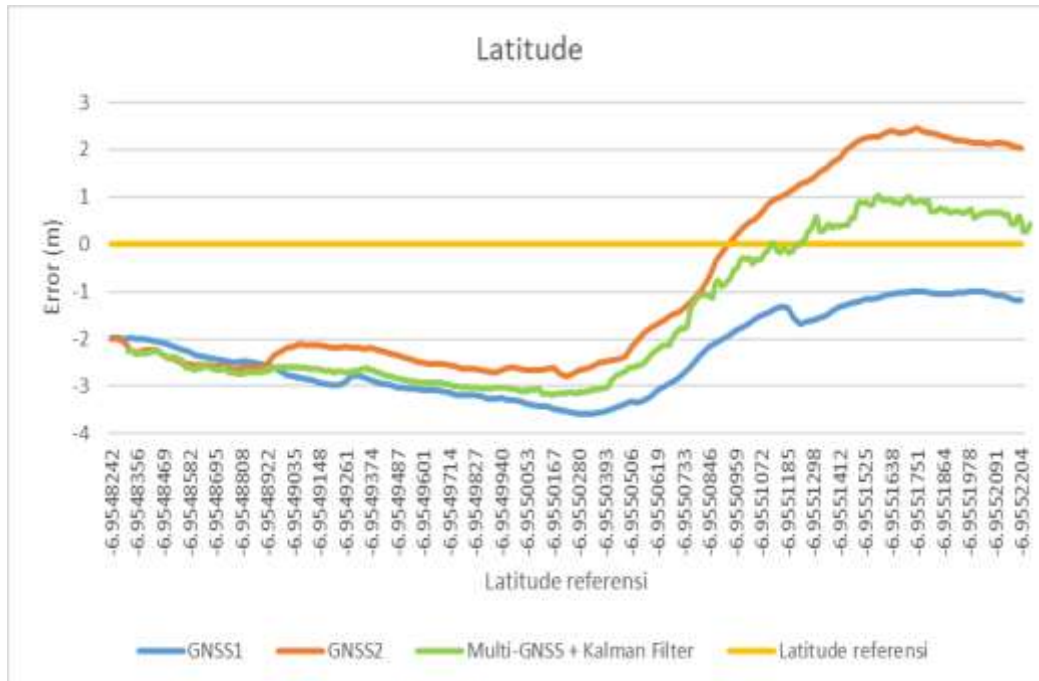
Kalman Filter didapatkan simpangan terjauh sebesar 4 m. Pengujian terhadap koordinat *latitude* ditunjukkan di **Gambar 9**.

Hasil Pengujian pada koordinat *latitude* didapatkan kondisi dimana data penerima GNSS1 dan GNSS2 melenceng ke arah yang berbeda

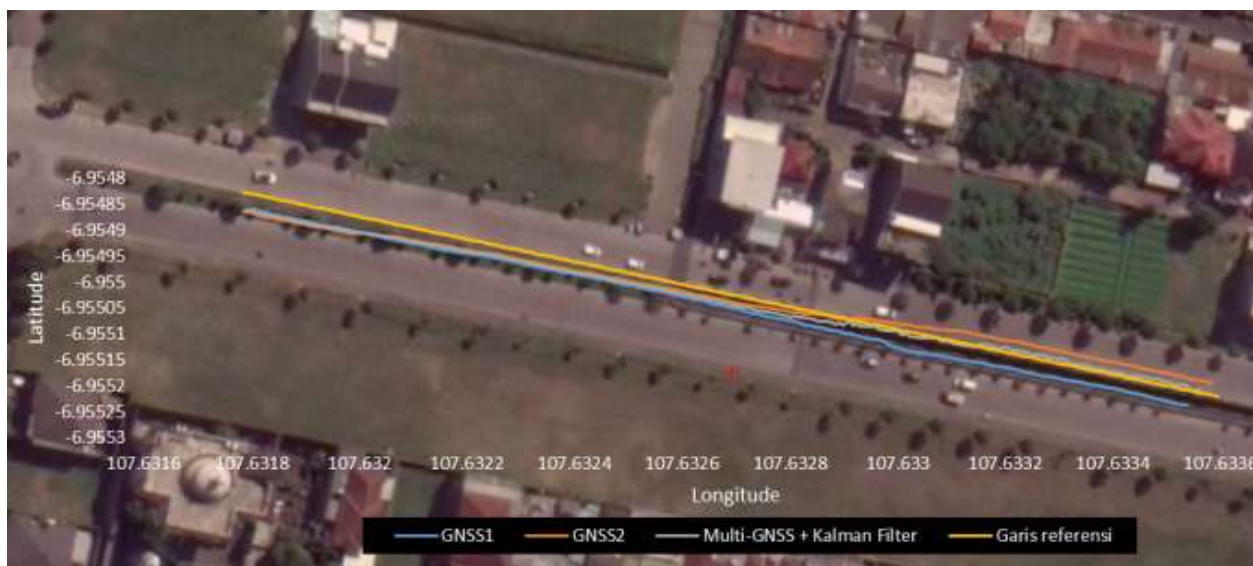
sehingga didapatkan hasil terbaik. Adapun GNSS1 memiliki simpangan terbesar sejauh 3,7m dan GNSS2 memiliki simpangan terbesar sejauh 2,7m, sedangkan data terfilternya memiliki simpangan terbesar sejauh 3m. Data hasil pengujian jika diplot terhadap *longitude* dan *latitude* akan terlihat seperti di **Gambar 10**.



Gambar 8 Hasil pengujian terhadap koordinat *longitude*



Gambar 9 Hasil pengujian terhadap koordinat *latitude*



Gambar 10 Plot hasil pengujian pada peta

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan. Terkait berhasilnya estimasi posisi menggunakan kalman filter dan multi penerima gnss, sistem estimasi posisi menggunakan kalman filter dan multi GNSS ini mampu meningkatkan akurasi data lokasi dengan kisaran 3 sampai 30%. Kondisi terbaik dicapai ketika data posisi melenceng ke arah yang berbeda sehingga didapatkan rata-rata error yang lebih kecil pada data hasil penggabungan. Kondisi terburuk didapat ketika data posisi melenceng ke arah yang sama sehingga didapatkan rata-rata error dengan nilai tetap

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aria, M., Suteja, I., Gunawan, R., Jatnika, I. "Navigation System based on Waypoint for Electric Ducted Fan Rocket". *TELEKONTRAN*. Volume 7, NO.1, pp. 42-53, 2019.
- [2] Konrad, T., Breuer, M., Engelhardt, T., & Abel, D. "State estimation for a multicopter using tight-coupling of gnss and inertial navigation". *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 11683-11688, 2017.
- [3] Schrader, Daniel K., Byung-Cheol Min, Eric T. Matson, and J. Eric Dietz. "Combining multiple, inexpensive GPS receivers to improve accuracy and reliability." *IEEE Sensors Applications Symposium Proceedings*, pp. 1-6, 2012.
- [4] Shetty, Akshay, and Grace Xingxin Gao. "Measurement level integration of multiple low-cost GPS receivers for UAVs." *Proceedings of the 2015 International Technical Meeting of the Institute of Navigation*, pp. 26-28. 2015.
- [5] Babu, Athira Chandra, Ravi Kumar Karri, and M. S. Nisha. "Sensor Data Fusion Using Kalman Filter." *International Conference on Design Innovations for 3Cs Compute Communicate Control (ICDI3C)*, IEEE, pp. 29-36, 2018.
- [6] Caron, Francois, et al. "GPS/IMU data fusion using multisensor Kalman filtering: introduction of contextual aspects." *Information fusion* 7.2.: 221-230, 2006.
- [7] Shusen Tan, Wiley "Concept of Satellite Navigation and the Principle of Positioning and Velocity Measurement," *GNSS Systems and Engineering: The Chinese Beidou Navigation and Position Location Satellite*, pp.117-132, 2018.
- [8] Zhang, Guohao, and Li Ta Hsu. "Intelligent GNSS/INS Integrated Navigation System for a Commercial UAV Flight Control System." *Aerospace Science and Technology*, pp. 07-026, 2018.
- [9] Bo, Fu, Liu Li, and Bao Jiuhong. "GPS/INS/speed log integrated navigation system based on MAKF and priori velocity information." *IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, pp. 54-58., 2013.
- [10] Kim, Y., An, J., & Lee, J. "Robust navigational system for a transporter using GPS/INS fusion". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(4), 3346-3354, 2018.
- [11] A. Amanatiadis, "A multisensor indoor localization system for biped robots operating in industrial environments", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 12, pp. 7597-7606, 2016.