

PERANCANGAN SISTEM PEMANTAUAN POSISI PEJALAN KAKI MENGUNAKAN FUSI DATA MEMS SENSOR DAN GPS

Muhammad Fairuz Luthfa*), Achmad Hidayatno, and Iwan Setiawan

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jalan Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

*)Email: fairuzluthfa@gmail.com

Abstrak

Pada sejumlah bidang aplikasi seperti militer, keamanan dan layanan darurat, informasi posisi pejalan kaki dapat memiliki arti sangat penting dan strategis. Sampai sekarang kebutuhan akan informasi posisi disediakan oleh GPS yang memiliki kelemahan akurasi. Pada tahun 2000 mulai dikembangkan sistem pemantauan posisi pejalan kaki menggunakan MEMS sensor yang memiliki kelemahan adanya *drift*. Pada penelitian ini dirancang suatu sistem pemantauan posisi untuk pejalan kaki dengan menggabungkan data posisi dari MEMS Sensor dan GPS menggunakan algoritma *complementary filter*. Penggunaan *complementary filter* bertujuan untuk menggabungkan data dari kedua sensor sehingga didapatkan hasil informasi posisi pejalan kaki dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan hanya dengan menggunakan salah satu metode saja. Perancangan simulasi dari *complementary filter* menggunakan Simulink Matlab 2012. Perancangan perangkat keras dibagi menjadi 3 subsistem, yaitu *slave*, *master* dan *ground station*. Sensor *accelerometer* ADXL345, magnetometer CMPS10 dan GPS EM411 digunakan untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam proses estimasi posisi pejalan kaki. Pengiriman data posisi dari *handheld* ke *ground station* menggunakan modul RF Parallax 433 MHz. Hasil dari pengujian sistem dengan fusi data menunjukkan adanya peningkatan akurasi informasi posisi dibandingkan dengan hanya mengandalkan salah satu dari MEMS sensor atau GPS.

Kata kunci: Posisi Pejalan Kaki, MEMS Sensor, GPS, Complementary Filter.

Abstract

Information position of a pedestrian is very important for military, security and emergency services application. For now, information position has been provided by GPS that has weakness its accuracy. In 2000, development of pedestrian positioning system using MEMS sensor has been developed and it gets drift as its weakness. In this research a method for pedestrian positioning system that fuse the data of MEMS sensor and GPS by using complementary filter is proposed. The use of complementary filter aims to combine the data from both sensors to obtain the results of pedestrian position information with accuracy higher than using only one method alone. The design of a complementary filter simulation using Matlab Simulink 2012. Hardware design is divided into three subsystems, namely the *slave*, the *master* and the *ground station*. ADXL345 accelerometer sensor, magnetometer CMPS10 and GPS EM411 used to obtain the data required in the process of estimation pedestrian position. Delivery of position data from the handheld to the *ground station* using Parallax 433 MHz RF modules. The results of testing the system with data fusion showed an increase in accuracy of positioning information as opposed to just relying on one of the MEMS sensors or GPS.

Keywords: Pedestrian Positioning, MEMS sensor, GPS, Complementary Filter.

1. Pendahuluan

Informasi posisi pejalan kaki (seseorang yang bernavigasi dengan kedua kakinya) dapat memiliki arti sangat penting dan strategis dalam sejumlah bidang aplikasi seperti militer, keamanan dan layanan darurat^[1]. Sebagai contoh, jika seorang personel pemadam kebakaran dalam tugasnya membutuhkan pertolongan darurat, maka bantuan dapat segera dilakukan jika posisi personel dapat

diketahui secara tepat. Sampai saat ini, salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan pemantauan posisi tersebut umumnya dengan memanfaatkan teknologi GNSS (Global Navigation Satellite Systems) yaitu seperti GPS-Global Positioning Systems (Amerika), Glonass (Rusia) dan Galileo (Eropa)^[2]. Walaupun sangat bermanfaat, keakuratan dari teknologi GNSS sangat bergantung pada berbagai faktor, salah satunya adalah kondisi ionosfer, multipath, dan geometri satelit^{[3],[2]}. Faktor-faktor tersebut

dapat mengakibatkan keakuratan dari sistem GNSS menurun.

Seiring perkembangan teknologi, pemanfaatan MEMS sensor untuk keperluan pemantauan posisi pun mulai dikembangkan. Sistem pemantauan posisi berbasis sensor MEMS memiliki sejumlah keunggulan, yaitu: (1) Sistem pemantauan posisi berbasis sensor MEMS tidak memerlukan referensi luar dan terbebas dari interferensi sinyal. (2) Sistem ini tidak memerlukan infrastruktur jaringan sensor^[4]. Akan tetapi kelemahan utama sistem pemantauan posisi berbasis MEMS sensor adalah akurasi sistem sangat tergantung dari waktu navigasi: semakin lama waktu navigasi, output sistem akan semakin tidak akurat.

Penelitian sebelumnya yang dilaksanakan oleh Suis Dhesta Meinggariyad memiliki kelemahan yaitu penggunaan sistem dalam jangka waktu yang lama akan mengakibatkan error yang semakin besar diakibatkan oleh akumulasi error pada estimasi posisi dengan metode *dead reckoning*^[5]. Pada penelitian ini dikembangkan sistem pemantauan posisi dengan fusi data sensor MEMS *accelerometer* dan GPS untuk mendapatkan data posisi yang lebih akurat. Penggunaan algoritma tapis komplementer untuk menggabungkan data kedua sensor diharapkan menghasilkan data posisi yang lebih akurat meskipun dalam jangka waktu penggunaan yang lebih lama.

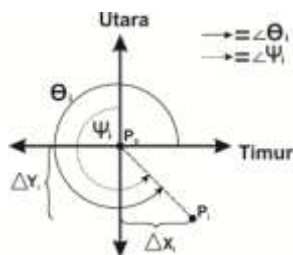
2. Metode

2.1. Pedestrian Dead reckoning (PDR)

Pedestrian Dead reckoning merupakan suatu metode untuk mengetahui posisi pejalan kaki melalui informasi besar kecepatan berjalan dan sudut tujuan dari pejalan kaki. Melalui informasi perubahan posisi dari pejalan kaki setiap waktu, maka dapat diketahui posisi terbaru dari pejalan kaki tersebut. *Pedestrian Dead reckoning* menggunakan sensor percepatan untuk mendeteksi terjadinya langkah (step) kaki, kemudian memperkirakan posisi dalam koordinat X dan Y berdasarkan input panjang langkah kaki dan orientasi arah yang terbaca oleh kompas digital.

Ada tiga parameter penting yang diterapkan dalam *pedestrian dead reckoning* ini yaitu:

1. Deteksi langkah (step) kaki,
2. Panjang langkah kaki (d_i), dan
3. Sudut orientasi setiap langkah kaki (θ_i).



Gambar 1 Orientasi arah pergerakan dengan membentuk sudut θ_i

dengan

θ_i : sudut yang dibentuk dengan acuan timur bumi

d_i : panjang langkah

P_0 : titik awal

P_i : titik akhir

Ψ_i : sudut keluaran magnetometer

ΔX_i : perpindahan sepanjang sumbu X

ΔY_i : perpindahan sepanjang sumbu Y

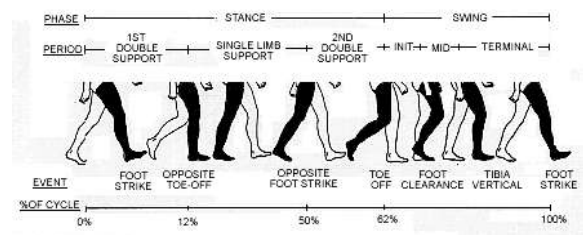
Berikut adalah persamaan dalam estimasi posisi dengan *dead reckoning*.

$$x_n = x_o + \sum_{i=1}^n d_i \cos(\theta_i) \quad (1)$$

$$y_n = y_o + \sum_{i=1}^n d_i \sin(\theta_i) \quad (2)$$

2.2. Identifikasi Gaya Berjalan terhadap Sinyal Accelerometer

Cara manusia berjalan menunjukkan adanya siklus pada gerakan kaki. Siklus ini terdiri dari dua fase utama yang dapat diamati dengan mengamati pergerakan salah satu kaki (pada Gambar 2 ditunjukkan oleh kaki yang diberi warna hitam). Fase berdiri (*stance*) terjadi ketika kaki yang diam terhadap tanah dan fase berayun (*swing*) terjadi ketika kaki bergerak mengayun. Telapak kaki menyentuh tanah selama fase *stance* hingga ujung jari terakhir menyentuh tanah (*toe-off*) terjadi, sehingga fase *swing* dimulai sejak ujung jari kaki meninggalkan tanah. Fase *swing* berakhir ketika telapak kaki menapak tanah kembali dan siap untuk memulai fase *stance* berikutnya. Gambar 2 menunjukkan siklus normal ketika berjalan serta pembagian fasa ketika berjalan.



Gambar 2 Siklus normal orang berjalan^[6]

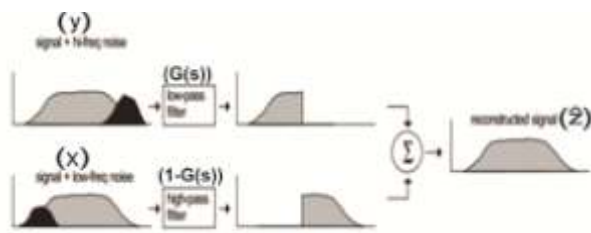
2.3. Fusion Sensor Data

Fusi data sensor adalah proses menggabungkan data dari lebih dari satu sensor yang berbeda untuk mendapatkan informasi data lingkungan yang relatif lebih robust dan dipercaya. Fusi data sensor dapat diaplikasikan dalam berbagai hal, seperti navigasi, pemantauan posisi, pengenalan objek, pemetaan lingkungan dan aplikasi-aplikasi lainnya.

2.3.1. Complementary Filter

Complementary Filter merupakan salah satu metode dalam fusi data sensor. Ide dari filter ini adalah

menggabungkan low pass filter dan high pass filter^[7]. Dasar dari Complementary Filter ditunjukkan dalam Gambar 3 yang menunjukkan sinyal x dan y sebagai hasil pengukuran sinyal z dengan gangguan dan \hat{z} adalah keluaran dari filter yang berupa estimasi dari z. Asumsikan gangguan pada y adalah gangguan dengan frekuensi tinggi, sedangkan gangguan pada x adalah gangguan dengan frekuensi rendah. Fungsi G(s) merupakan low pass filter untuk meloloskan sinyal dengan frekuensi rendah^[8]. Jika G(s) adalah low pass filter, maka fungsi [1-G(s)] adalah komplementernya berupa high pass filter yang digunakan untuk meloloskan sinyal dengan frekuensi tinggi. Gambar 3 menunjukkan prinsip kerja dari complementary filter.



Gambar 3 Prinsip kerja complementary filter^[7]

Berikut adalah persamaan untuk complementary filter.

$$\hat{Z}(n) = (1 - k) \times Y(n) + (k) \times (\hat{Z}(n - 1) + Ts \times dx(n)) \quad (3)$$

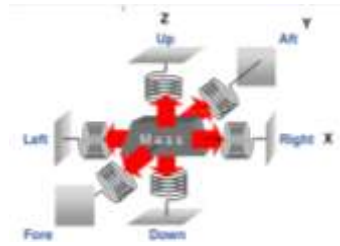
2.4. Micro Electro Mechanical System (MEMS) Sensor

Sensor MEMS memiliki arti suatu perangkat atau sistem yang berfungsi untuk mengubah besaran fisik ke besaran elektrik dan dibuat dengan menggunakan teknologi MEMS. Sensor MEMS memiliki area pemanfaatan yang sangat luas, termasuk dalam bidang otomotif (*accelerometer* untuk system airbag, pendeteksi sudut dll), biomedis (alat pembedahan mikro, alat bantu penglihatan dan pendengaran dan lain-lain), bidang telekomunikasi (cermin mikro untuk pensaklaran kabel fiber optik) dan berbagai bidang lainnya. Oleh karena itu dewasa ini semakin banyak digunakan sensor dengan teknologi MEMS untuk penelitian dikarenakan performa pengukuran yang baik dan ukurannya yang kecil.

2.4.1. Sensor Accelerometer

Accelerometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur percepatan suatu benda yang menempel pada sensor. Sebagai bagian dari proses pengukuran percepatan, *accelerometer* juga akan memberikan beberapa informasi mengenai hal penting seperti getaran, kemiringan, dan kejutan. Pergerakan ini dapat berupa pergerakan statis seperti pengaruh gaya gravitasi pada kaki manusia, ataupun pergerakan dinamis seperti

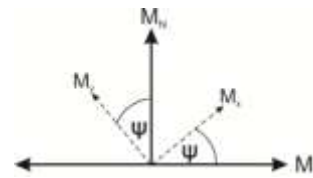
pergeseran atau getaran yang dialami oleh *accelerometer*^[9]. Untuk aplikasi lebih lanjut, sensor ini banyak digunakan untuk keperluan navigasi.



Gambar 4 Ilustrasi kerja accelerometer 3 axis

2.4.2. Sensor Magnetometer

Magnetometer adalah peralatan elektronik yang berguna untuk mengukur kekuatan dari medan magnet. Adanya medan magnet bumi yang berasal dari utara membuat sensor magnetometer dapat digunakan untuk mengukur sudut terhadap arah utara bumi. Hubungan antara medan vektor magnet bumi komponen utara (MN) dan komponen timur (ME) dengan besar pembacaan sensor terhadap sumbu X (Mx) dan sumbu Y (My) diilustrasikan pada Gambar 5 dan persamaan 4.



Gambar 5 Sistem koordinat kartesian yang digunakan sebagai konversi arah pembacaan sensor kompas

$$\psi = \text{atan} \left(\frac{M_x}{M_y} \right) \quad (4)$$

2.5. GPS (Global Positioning System)

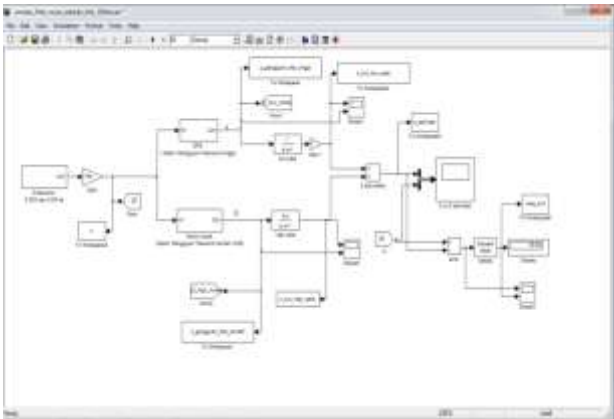
GPS adalah sistem navigasi dan penentuan posisi berbasis satelit yang dapat digunakan oleh banyak orang sekaligus dalam segala cuaca, serta didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga-dimensi, dan juga informasi waktu secara kontinyu di seluruh dunia^[2]. GPS telah dikembangkan oleh Amerika Serikat sejak tahun 1973, dan pada awalnya direncanakan untuk keperluan militer. Gambar satelit GPS dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Satelit GPS

2.6. Perancangan Simulasi

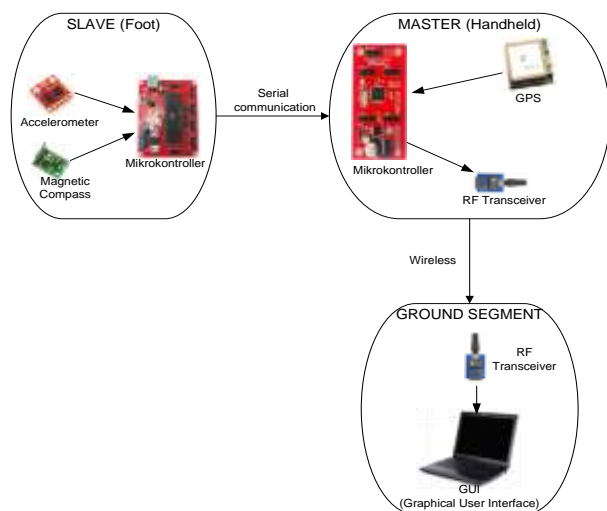
Perancangan simulasi complementary filter dibagi menjadi 4 bagian yaitu perancangan sinyal referensi (Z), sensor GPS (data + gangguan frekuensi tinggi), sensor MEMS *accelerometer* (data + gangguan frekuensi rendah/drift), dan complementary filter. Secara keseluruhan hasil dari desain simulasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Blok simulasi pemantauan posisi

2.7. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras pada instrumentasi sistem pemantauan posisi pejalan kaki ini dibagi menjadi 3 subsistem yaitu *slave*, *master* dan *ground station*. Secara umum perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 8



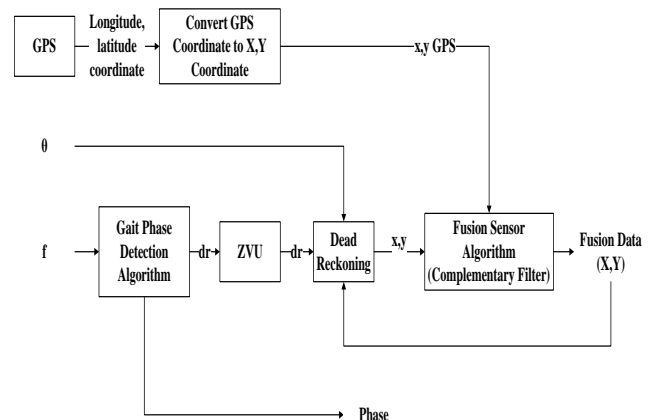
Gambar 8 Diagram blok perancangan perangkat keras

2.8. Algoritma Estimasi Posisi

Berdasarkan Gambar 9, f merupakan nilai percepatan sensor *accelerometer* yang dipasang di kaki pengguna.

Nilai percepatan ini akan masuk ke algoritma pendeteksian fasa untuk mendapat fasa langkah yang sedang terjadi. Pada algoritma ini juga akan didapatkan informasi terjadi langkah atau tidak dengan melakukan pengecekan adanya perubahan fasa. Jika ada perubahan fasa maka dianggap telah terjadi satu langkah dan mengakibatkan nilai dr (besar perubahan posisi) berubah. *Dead reckoning* merupakan algoritma untuk mengestimasi posisi berdasarkan data perpindahan setiap pencuplikan. Algoritma *dead reckoning* merubah dr dan sudut tujuan (θ) kedalam posisi dalam koordinat kartesian.

Algoritma terakhir adalah algoritma fusi data. Dalam penelitian ini fusi data menggunakan Complementary Filter. Data dari GPS dan data posisi dari *dead reckoning* akan digabungkan dalam algoritma fusi ini sehingga dihasilkan informasi posisi yang relatif lebih akurat dibandingkan dengan hanya mengandalkan data dari salah satu sensor saja.



Gambar 9 Blok diagram sistem pemantauan posisi untuk pejalan kaki dengan menggunakan fusion data MEMS Sensor dan GPS

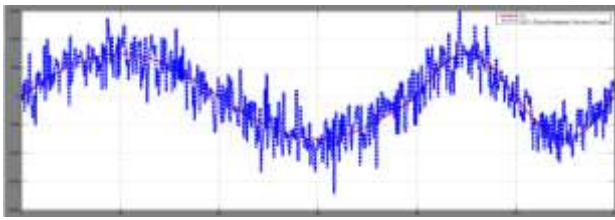
3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian Simulasi

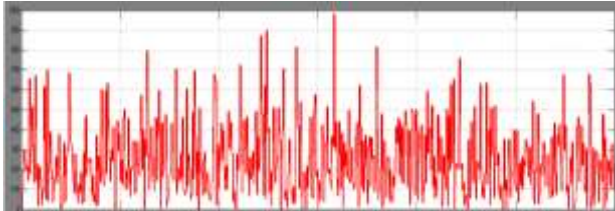
Pengujian simulasi dilakukan untuk melihat performa dari metode fusi data sensor dalam mengestimasi sinyal posisi dibandingkan dengan performa dari data observasi posisi GPS dan data observasi posisi MEMS sensor. Pada pengujian ini akan dilakukan analisis terhadap hasil, galat dan analisa frekuensi data dari ketiga metode.

3.1.1. Pengujian Simulasi Observasi Posisi GPS

Pengujian ini bertujuan melihat performa data observasi posisi GPS. Gambar 10 menunjukkan perbandingan antara data observasi posisi GPS dengan data referensi dan Gambar 11 menunjukkan galat dari data observasi posisi GPS.



Gambar 10 Perbandingan data observasi GPS dengan referensi

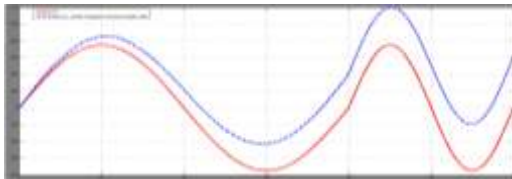


Gambar 11 Grafik galat data observasi GPS

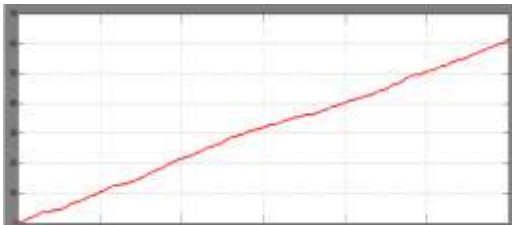
Nilai RMSE dari observasi GPS sebesar 296,3 cm.

3.1.2. Pengujian Simulasi Observasi Posisi MEMS Sensor

Pengujian ini bertujuan melihat performa data observasi posisi MEMS sensor. Gambar 12 menunjukkan perbandingan antara data observasi MEMS sensor dengan data referensi dan Gambar 13 menunjukkan galat dari hasil observasi posisi dengan MEMS sensor.



Gambar 12 Perbandingan hasil observasi posisi MEMS sensor dengan referensi



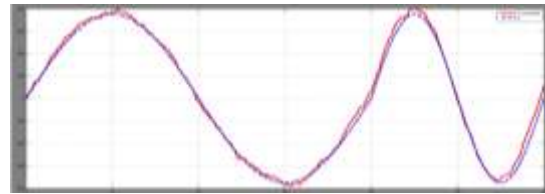
Gambar 13 Grafik galat data observasi MEMS sensor

Nilai RMSE dari observasi MEMS sensor sebesar 353,3 cm.

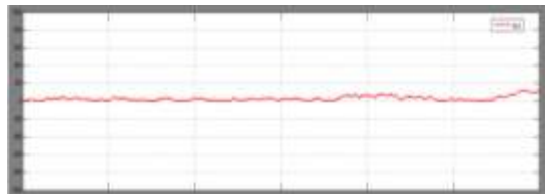
3.1.3. Pengujian Simulasi Fusi Data Sensor

Pengujian ini bertujuan melihat performa fusi data sensor dalam mengestimasi posisi. Gambar 14 menunjukkan

perbandingan antara hasil estimasi fusi data sensor dengan data referensi dan Gambar 15 menunjukkan galat dari hasil estimasi dengan fusi data sensor.

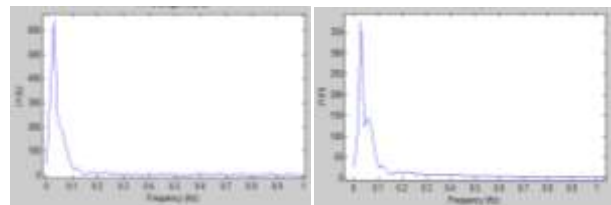


Gambar 14 Perbandingan hasil estimasi fusi data sensor dengan referensi



Gambar 15 Grafik galat estimasi fusi data sensor

Nilai RMSE dari estimasi fusi sensor sebesar 39,25 cm.



(a) Referensi

(b) Hasil estimasi fusi data sensor

Gambar 16 Perbandingan FFT data posisi referensi dengan data estimasi fusi sensor

Gambar 16 menunjukkan kesamaan pola antara data referensi dengan hasil estimasi fusi sensor dilihat dari ranah frekuensinya.

3.2. Pengujian Transfer Data Wireless Menggunakan RF 433 Mhz

Pada pengujian ini diujicobakan dengan subsistem *master* mengirimkan data yang diterima melalui Wireless RF 433Mhz transmitter. Pengujian dengan mengirimkan data karakter 0, 1, 2, 9. Hasil pengiriman data diterima wireless RF 433Mhz receiver dibaca di terminal desktop pada program CodeVision AVR. Pada pengujian ini dihasilkan kesesuaian antara data yang dikirim dengan yang diterima.

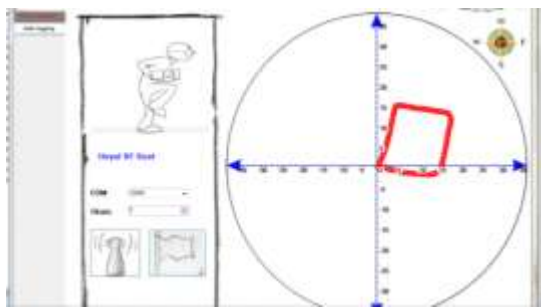
3.3. Uji Lapangan Sistem Pemantauan Posisi Pejalan Kaki Berbasis MEMS Sensor

Pengujian ini bertujuan melihat performa data observasi posisi dari sistem berbasis MEMS sensor pada pengujian

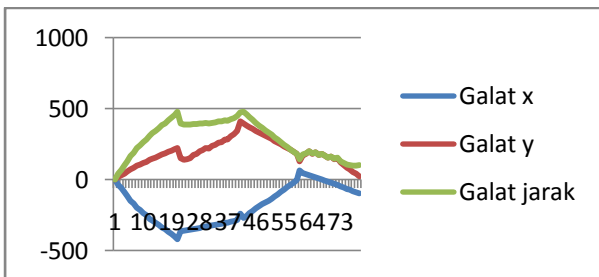
lapangan dengan lintasan kotak. Gambar 18 menunjukkan data visual sistem berbasis MEMS untuk lintasan kotak dan Gambar 19 menunjukkan galat dari hasil observasi posisi dengan MEMS sensor.



Gambar 17 Tampilan pengujian transfer data karakter 0 –9 yang diterima secara wireless



Gambar 18 Data visual sistem berbasis MEMS untuk lintasan kotak

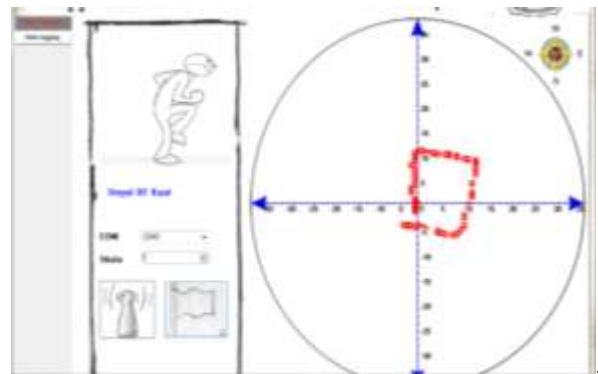


Gambar 19 Grafik perbandingan galat pada sumbu x,y dan galat jarak sistem berbasis MEMS dengan lintasan kotak

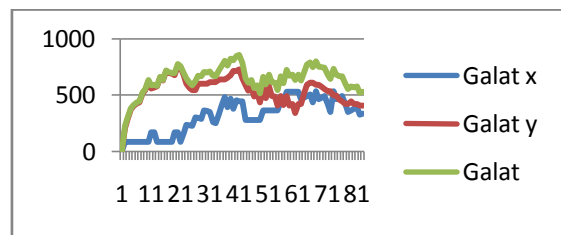
Pada pengujian ini masih terdapat galat. Hasil pengujian didapat nilai RMSE sebesar 229,1 cm untuk sumbu X, 223,6 cm untuk sumbu Y dan 313,3 cm untuk RMSE jarak hipotenusa.

3.4. Uji Lapangan Sistem Pemantauan Posisi Pejalan Kaki Berbasis GPS

Pengujian ini bertujuan melihat performa data observasi posisi GPS sensor pada pengujian lapangan dengan lintasan kotak. Gambar 20 menunjukkan data visual sistem berbasis GPS untuk lintasan kotak dan Gambar 21 menunjukkan galat dari hasil observasi posisi dengan GPS sensor



Gambar 20 Data visual sistem berbasis GPS untuk lintasan kotak

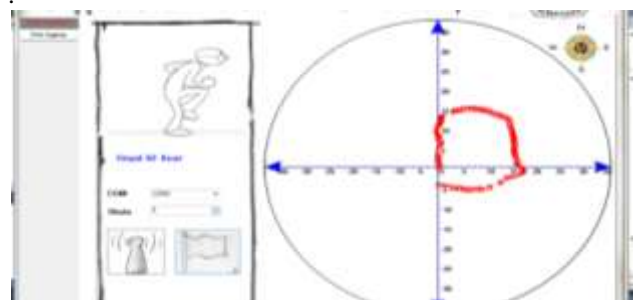


Gambar 21 Grafik perbandingan galat pada sumbu x,y dan galat jarak sistem berbasis GPS dengan lintasan kotak

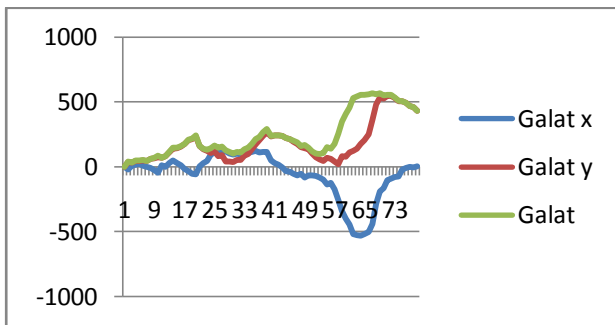
Pada pengujian ini masih terdapat galat. Hasil pengujian didapat nilai RMSE sebesar 351,33 cm untuk sumbu X, 550,35 cm untuk sumbu Y dan 653,44 cm untuk RMSE jarak hipotenusa.

3.5. Uji Lapangan Sistem Pemantauan Posisi Pejalan Kaki Berbasis Fusi Data MEMS Sensor dan GPS ($f_{cutoff} = 0,22$ Hz)

Pengujian ini bertujuan melihat performa data estimasi posisi dengan fusi data sensor pada pengujian lapangan dengan lintasan kotak. Gambar 22 menunjukkan data visual sistem berbasis fusi data sensor untuk lintasan kotak dan Gambar 23 menunjukkan galat dari hasil estimasi fusi data sensor.



Gambar 22 Data visual sistem berbasis fusi data sensor untuk lintasan kotak



Gambar 4.23 Grafik perbandingan galat pada sumbu x,y dan galat jarak sistem berbasis fusi data sensor pada lintasan kotak

Pada pengujian ini masih terdapat galat. Hasil pengujian didapat nilai RMSE sebesar 179,98 cm untuk sumbu X, 238,66 cm untuk sumbu Y dan 298,92 cm untuk RMSE jarak hipotenusa.

4. Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan dari fusi data sensor untuk mengestimasi suatu data akan menghasilkan nilai yang lebih akurat dibandingkan hanya mengandalkan data observasi dari satu sensor saja. Hasil dari fusi data sensor dengan algoritma *complementary filter* juga menunjukkan kesamaan sifat antara data referensi dengan data estimasi ditinjau dari grafik FFT nya. Sebagai pengembangan dari penelitian ini dapat dilakukan analisis metode *complementary filter* orde yang lebih tinggi atau dengan metode fusi data lain seperti *kalman filter*. Disamping itu dapat juga ditambahkan metode

Referensi

- [1]. Fourati,H. and N. Manamanni, "Position Estimation Approach by Complementary Filter-aided IMU for Indoor Environment," IEEE, vol. 12, 2013.
- [2]. Abidin,H.Z., PENENTUAN POSISI DENGAN GPS DAN APLIKASINYA, Pradnya Paramita, Jakarta, p. 362, 2006.
- [3]. Ge,L., S. Han, and C. Rizos, "Multipath mitigation of continuous GPS measurements using an adaptive filter," Springerlink, 2000.
- [4]. Mezentsev,O., G. Lachapelle, and J. Collin, "PEDESTRIAN DEAD RECKONING — A SOLUTION TO NAVIGATION IN GPS SIGNAL DEGRADED AREAS?," GEOMATICA, vol. 59, no. 2, pp. 175–182, 200
- [5]. S. D. Meinggariyad, PEMETAAN POSISI DAN ORIENTASI ARAH SISTEM NAVIGASI PERSONAL BERBASIS PRINSIP DEAD RECKONING, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro,Semarang,2012.
- [6]. A. Ross, G. Stirling, and R. G. Stirling, "Development of a Pedestrian Navigation System Using Shoe Mounted Sensors", thesis, Alberta University, 2004.
- [7]. Glasser,P. C. , "An Introduction to the Use of Complementary Filters for Fusion of Sensor Data", <http://www.glassercommunications.com>, Desember 2013
- [8]. Higgins,W. , "A Comparison of Complementary and Kalman Filtering," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. AES-11, pp. 321–325,1975.
- [9]. Andreja,Matej, "MEMS ACCELEROMETER," seminar,University of Ljubljana, 2008.