

# Rancang Bangun Alat Pengukur Jarak Tempuh Lari Laun Menggunakan Sensor Inertial Measurement Unit (IMU) Berbasis Mikrokontroler

Yunidar, Yazid Yasykur, Roslidar dan Mohd.Syaryadhi  
Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Tgk Syech Abdurrauf no.7 Darussalam, Banda Aceh, Indonesia 23111  
e-mail: yunidar@unsyiah.ac.id

**Abstrak**—Lari laun adalah bentuk berlari dengan langkah perlahan atau santai. Selama ini pengukuran jarak lari laun ditentukan oleh *wearables Global Positioning System (GPS)* dan pedometer. Namun penggunaan *wearables GPS* tidak berfungsi dengan baik apabila digunakan dalam kondisi indoor, Sementara penggunaan pedometer untuk pengukuran jumlah langkah tidak dapat menghitung jarak secara spesifik dikarenakan langkah kaki manusia yang tidak konsisten. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat yang dapat mengukur jarak tempuh dari kegiatan lari laun menggunakan sensor *Inertial Measurement Unit (IMU)* dengan output percepatan linear, kemudian meredam *noise* pengukuran dengan menggunakan *Kalman Filter*. Sinyal percepatan diproses menjadi sinyal kecepatan dan sinyal kecepatan diproses menjadi sinyal jarak melalui pengintegralan. Dari hasil rancangan prototipe tersebut mampu mengukur jarak 25 m dengan *error* 0,78%, jarak 50 m dengan *error* 2,53 % dan pada jarak 75 m dengan *error* 2,15 %.

**Kata kunci:** *alat ukur jarak, jogging, wearables, inertial measurement unit*

**Abstract**—Jogging is a form of trotting or running at a slow or leisurely pace. So far, the measurement of running distance is determined by wearables Global Positioning System (GPS) and pedometers. The use of wearables with GPS commonly used by joggers cannot be used in indoor conditions. In addition, the use of a pedometer for measuring the number of steps cannot calculate the specific distance due to the inconsistency of human footsteps. This study aims to design a device to measure the distance traveled in jogging. To measure the distance traveled in a run, an Inertial Measurement Unit (IMU) sensor can be used with a linear acceleration output then reduce the measurement noise by using a Kalman Filter. The acceleration signal is processed into a velocity signal and the velocity signal is processed into a distance signal through integration. From the results of the prototype design, it is able to measure a distance of 25m with an error of 0.78%, a distance of 50m with 0.53% and a distance of 75m with 0.22%.

**Keywords:** *measuring instrument, jogging, wearables, inertial measurement unit*

## I. PENDAHULUAN

Ilmu pengetahuan dan teknologi sangat berkaitan erat dengan pengukuran satu dengan lainnya. Banyak dari penelitian berbasis teknologi yang telah dilakukan sehingga mempermudah kegiatan manusia termasuk kegiatan berolahraga seperti berlari. Lari merupakan kegiatan berpindah dari satu titik ke titik lainnya dengan cara menggerakkan kedua kaki secara bergantian kedepan dengan cepat. Pada saat berlari ada saat ketika tubuh melayang diudara dan kaki tidak menapak di atas tanah [1]. Lari laun atau jogging merupakan salah satu bentuk berlari dan diartikan sebagai lari lambat dan kontinu karena hanya membutuhkan tekanan yang lebih sedikit pada tubuh. Lari laun dapat mencapai kecepatan yang tetap untuk jangka

waktu yang lebih lama [2].

Dalam sepuluh tahun terakhir teknologi wearables semakin populer dikalangan pelari [3]. Sebagian besar wearables ini memberikan informasi pengukuran jarak dan kecepatan perpindahan menggunakan *Global Navigation Satellite Systems (GNSS)* seperti *Global Positioning System (GPS)* [4], [5]. Untuk mendapatkan pembacaan GPS terbaik, sebuah GPS harus memiliki frekuensi sampling yang tinggi, bebas dari halangan seperti bangunan yang tinggi dan langit yang tidak berawan [6].

*Wearable GPS device* merupakan salah satu perangkat elektronik yang dapat dipakai sebagai aksesoris, disematkan pada pakaian, atau bahkan ditanamkan di tubuh pengguna dengan tujuan untuk kenyamanan, kemudahan, dan aksesibilitas darurat. Dalam bidang

kesehatan dan olah raga perangkat ini juga dapat digunakan untuk mengukur aktivitas lari laun. Namun demikian, dikarenakan penggunaan sistem GPS, maka *wearables* ini hanya terbatas untuk penggunaan *outdoor* saja. Sementara untuk penggunaan *indoor* pengukuran ini dapat digantikan oleh pedometer.

Pedometer merupakan suatu alat dengan skala kecil yang digunakan untuk menghitung jumlah langkah kaki yang ditempuh oleh manusia setiap harinya. Pedometer juga tersedia berupa aplikasi yang dapat dipasang pada smartphone [7]. Pedometer saat ini populer digunakan untuk memonitoring aktivitas fisik seperti berlari atau berjalan [8]. Pada penggunaan pedometer jumlah langkah kaki yang dihitung merepresentasikan jarak tempuh dengan cara mengalikan rerata jarak langkah dengan jumlah langkah yang telah ditempuh. Beberapa aplikasi pedometer akan meminta pengguna memasukkan jarak langkah pada aplikasi. Dikarenakan jarak langkah kaki manusia yang tidak konsisten maka kalkulasi jarak tempuh yang dilakukan oleh pedometer berupa estimasi [9]. Sebuah studi oleh Anna Åkerberg dkk. membandingkan keakuratan 6 aplikasi pedometer pada 3 jenis smartphone pada 3 lokasi penempatan yang berbeda. Hasil studi ini menunjukkan bahwa pada pengujian 200 langkah hanya ada satu aplikasi yang memiliki error yang dapat diterima (<5%) sehingga dibutuhkan evaluasi lebih jauh mengenai penggunaan aplikasi pedometer pada smartphone [7], [10].

Sebuah studi yang lain oleh Ari Roma Wicaksono memanfaatkan sensor akselerometer, gyroscope dan magnetometer yang terdapat pada smartphone serta memodelkan kalman filter yang digunakan untuk meredam noise pengukuran sensor. Penelitian ini memanfaatkan sensor IMU untuk pengukuran jarak pendek. Dari penelitian tersebut didapatkan rata-rata akurasi sebesar 93% dengan jarak maksimum pengukuran sejauh 4 meter [11].

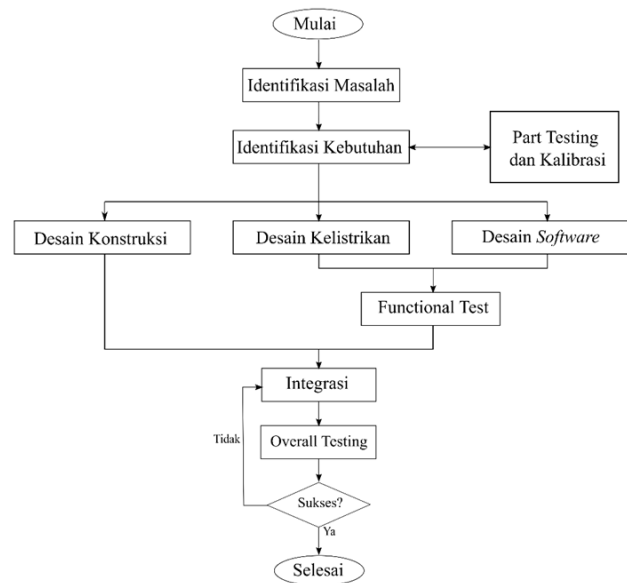
Pada penelitian ini dirancang alat untuk mengukur jarak tempuh lari laun dengan metode pengintegralan output sensor IMU dengan menggunakan permodelan filter kalman untuk mengurangi derau pengukuran jarak dengan input percepatan, dan untuk menghindari simpangan posisi yang bersifat kuadratis sistem ini juga menggunakan prinsip *Zero Velocity Update* (ZUPT).

## II. METODE PENELITIAN

### A. Alur Penelitian

Proses yang dilakukan selama penelitian, dimulai dari identifikasi masalah, identifikasi kebutuhan dan kalibrasi, desain konstruksi, desain kelistrikan, desain software, dan pengujian sistem keseluruhan, seperti yang terlihat pada Gambar 1.

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu ketidakmampuannya gawai *wearables* dengan GPS yang umum digunakan untuk olahraga lari dalam mengukur jarak pada kondisi *indoor* dan pengukuran jarak oleh pedometer yang hanya berupa estimasi kasar dikarenakan



Gambar 1. Flowchart penelitian

jarak langkah kaki manusia yang tidak konsisten.

Dari identifikasi masalah diatas maka dirancang suatu alat *wearables* yang terdiri dari:

#### 1. Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 memiliki 18 ADC, 2 DAC, 16 PWM, 10 Sensor sentuh, 2 jalur *interface* UART serta pin *interface* I2C, I2S dan SPI [12]. Mikrokontroler ESP32 digunakan karena memiliki fitur Bluetooth sehingga mempermudah proses *sampling* sinyal untuk keperluan penelitian.

#### 2. Modul IMU MPU250

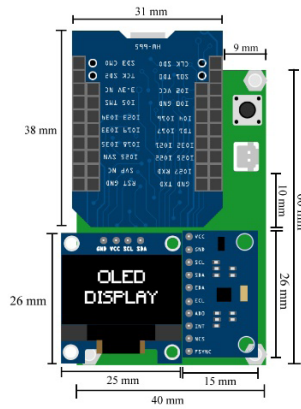
Modul MPU9250 merupakan *Inertial Measurement Unit* atau IMU yang memanfaatkan sistem pengukuran akselerometer, *gyroscope* atau magnetometer untuk memperkirakan posisi relatif, kecepatan dan akselerasi. Suatu sensor IMU dapat memperkirakan posisi dalam koordinat  $(x, y, z)$  dan orientasi  $(roll, pitch, yaw)$  [13]. Dalam penelitian ini digunakan modul MPU9250 sebagai sensor IMU dikarenakan terdiri atas 3 sensor, yaitu akselerometer, gyroscope dan magnetometer.

#### 3. OLED Display SSD1306

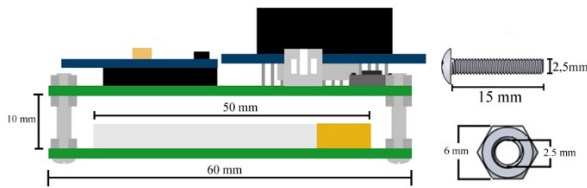
SSD1306 merupakan display dengan teknologi OLED berukuran 0.96 inci dengan resolusi 128x64 piksel. Masing-masing piksel dihidupkan atau dimatikan oleh *chip controller* yang terdapat pada modul. Karena membuat cahayanya sendiri, *display* ini tidak memerlukan *backlight* sehingga hemat dalam pengonsumsi daya [14]. SSD1306 membutuhkan tegangan sebesar 3,3 – 5V untuk beroperasi dengan jalur komunikasi SPI atau I2C [15]. *Display* OLED SSD1306 digunakan dikarenakan ukurannya yang kecil serta konsumsi dayanya yang rendah.

### B. Desain Konstruksi

Konstruksi alat dibangun dengan menggunakan PCB sebagai penampang untuk meletakkan seluruh komponen

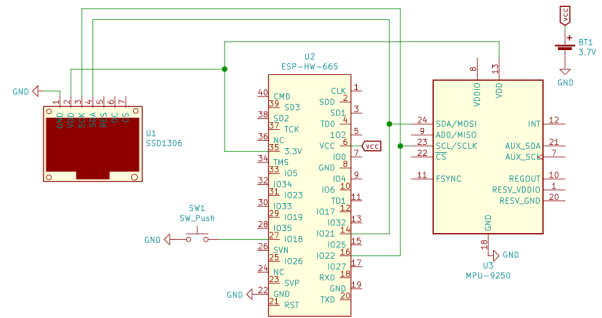


Gambar 2. Desain konstruksi alat tampak atas



Gambar 3. Desain konstruksi alat tampak samping

listrik yang digunakan, kemudian alat disematkan dengan rapat pada ujung depan sepatu. Lokasi penempatan ini umum dipakai dalam penelitian analisis terkait langkah kaki dengan menggunakan sensor IMU dikarenakan dapat terpasang ketat dan aman pada pengguna dan meminimalisir gerakan [16], [17]. Detail konstruksi alat

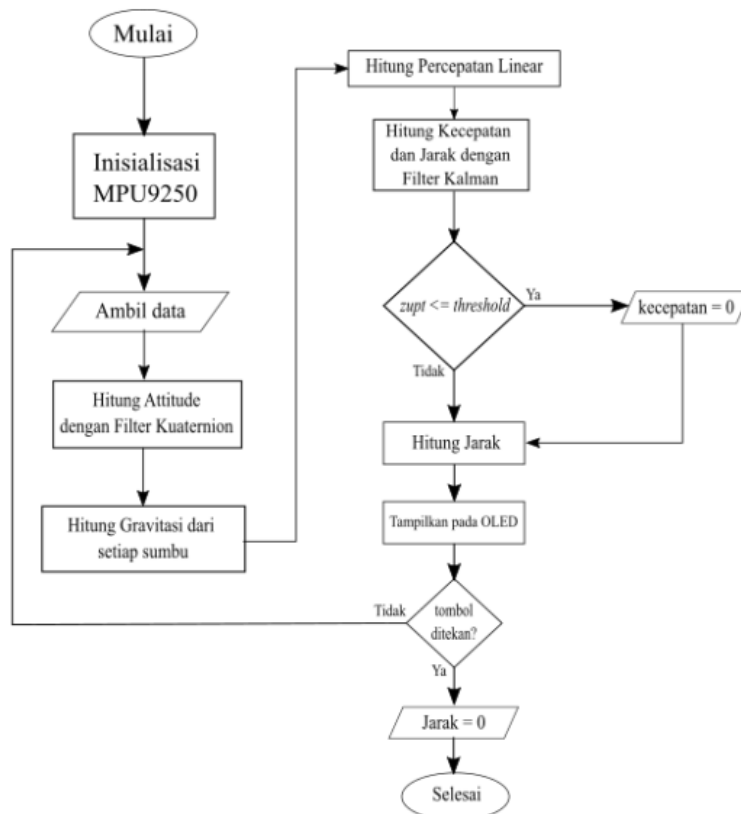


Gambar 4. Desain sistem kelistrikan

tampak atas dapat dilihat pada Gambar 2 dan tampak samping pada Gambar 3. Sementara desain sistem kelistrikan diperlihatkan pada Gambar 4.

### C. Desain Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 5. Ketika alat diaktifkan, maka mikrokontroler akan menginisialisasi sensor MPU9250 dan *display* SSD1306 untuk memastikannya terhubung dengan mikrokontroler atau tidak. Kemudian mengatur *full-scale range* akselerometer pada level 4g, *gyroscope* pada level 250 DPS (*degree per second*) serta resolusi magnetometer pada angka 16 bit (0,15 mG per LSB). Setelah tersambung maka mikrokontroler akan mengambil data akselerometer, *gyroscope* dan magnetometer dalam bentuk data mentah, kemudian data ini dipisah untuk



Gambar 5. Diagram alir rancangan perangkat lunak

masing-masing sensor dan dikonversi menjadi bentuk 16-bit *signed* data. Data masing-masing sensor dikalikan dengan resolusinya masing-masing sesuai dengan *full-scale range* yang telah diatur [18]. Data akselerometer, *gyroscope* dan magnetometer kemudian diproses dalam filter kuaternion sehingga menghasilkan data orientasi sistem. Nilai orientasi ini kemudian digunakan untuk menghitung pengaruh gravitasi pada setiap sumbu. Setelah nilai gravitasi pada tiap sumbu dihitung, kemudian nilai percepatan sensor dikurangi dengan masing-masing gravitasinya sehingga menghasilkan percepatan linear.

Bertambahnya nilai kecepatan disebabkan oleh adanya nilai percepatan pada rentang waktu tertentu dan bertambahnya nilai jarak disebabkan oleh adanya nilai kecepatan pada rentang waktu tertentu. Hubungan jarak dengan percepatan dinyatakan sebagai [19]:

$$\bar{s} = \int \left( \int \bar{a} dt \right) dt \quad (1)$$

dimana  $\dot{s}$  adalah perubahan jarak pada waktu  $t$  dalam satuan m dan  $\dot{a}$  adalah perubahan percepatan pada rentang waktu  $t$  dalam satuan  $m/s^2$ .

Permodelan Filter Kalman untuk pengukuran jarak digunakan untuk mengurangi derau sensor akselerometer [20]. Filter Kalman merupakan suatu solusi rekursif yang menggunakan teknik asimilasi data. Asimilasi data merupakan salah satu teknik estimasi yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan sistem dinamik

Pada saat penghitungan jarak, kondisi statis sistem diperiksa apakah langkah kaki berada pada kondisi stasioner. Jika kaki berada pada posisi stasioner maka sistem akan mengatur nilai kecepatan ke nilai nol untuk menghilangkan *drift* akibat dari derau akselerometer. *Drift* kecepatan ini dapat menyebabkan kenaikan drastis jarak bahkan pada saat sistem dalam kondisi statis [20].

#### D. Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan dalam beberapa tahap yang terdiri dari pengkalibrasian sensor MPU9250 dan pengujian sistem secara keseluruhan. Tahap pengujian alat akan selesai ketika alat mampu bekerja dengan fungsionalitas yang baik.

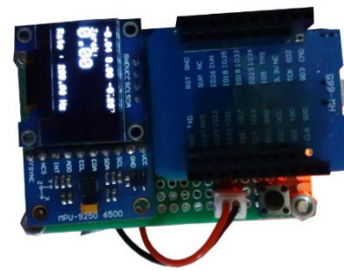
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Rancangan Konstruksi

Hasil rancangan konstruksi dari penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 6. Dari rancangan konstruksi tersebut didapatkan dimensi prototipe berukuran  $6,7\text{cm} \times 4,5\text{cm} \times 3\text{cm}$  dengan massa 57 gram.

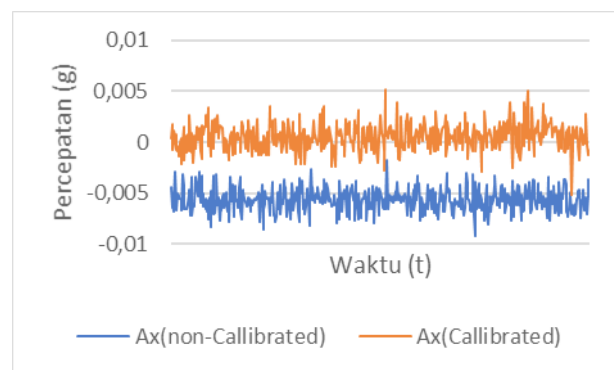
#### B. Kalibrasi Sensor MPU9250

MPU9250 memiliki 3 sensor yang dikalibrasi pada, yaitu akselerometer, *gyroscope* dan magnetometer. Kalibrasi akselerometer dilakukan dengan meletakkan sensor pada bidang  $x$  dan  $y$  sejajar dengan permukaan bumi

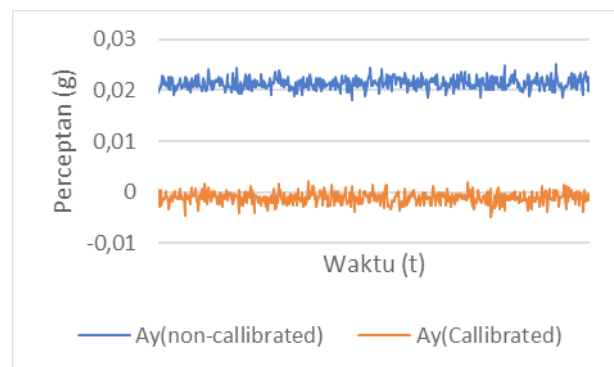


Gambar 6. Rancangan konstruksi alat

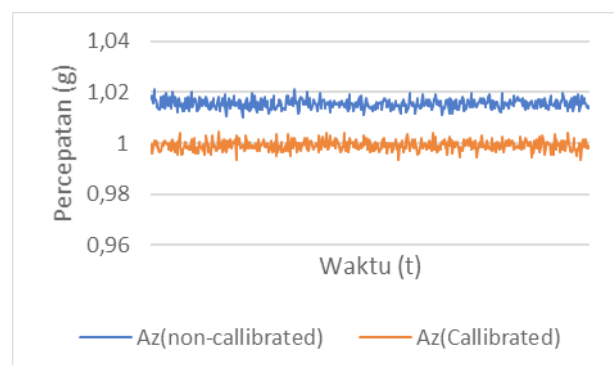
dan sumbu  $z$  menghadap ke atas. Kemudian program akan menghitung rata-rata nilai *offset* percepatan yang terbaca pada tiap sumbu dalam satuan  $g$ . Nilai *offset* percepatan ini kemudian akan mengurangi nilai pembacaan akselerometer. Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9 secara berurutan memperlihatkan perbandingan akselerometer pada sumbu  $x$ ,  $y$  dan  $z$  sebelum (kurva biru) dan sesudah



Gambar 7. Kalibrasi akselerometer sumbu x

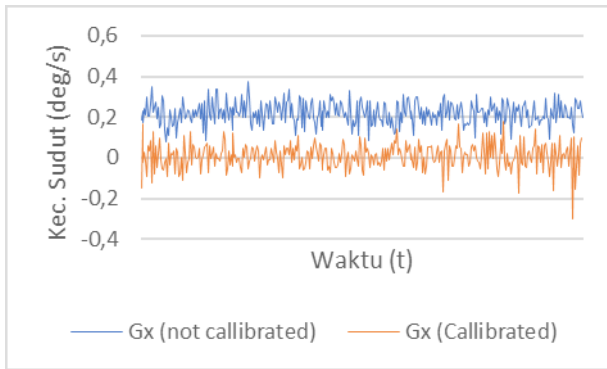


Gambar 8. Kalibrasi akselerometer sumbu y

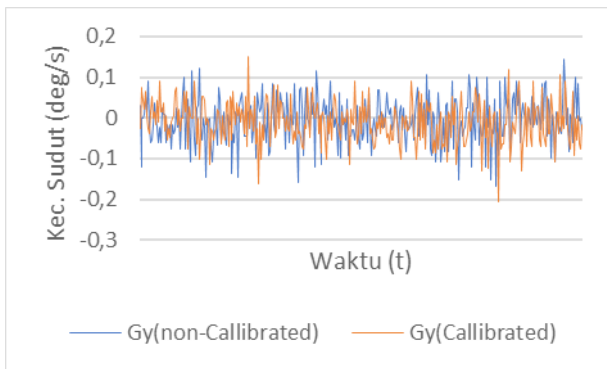


Gambar 9. Kalibrasi akselerometer sumbu z

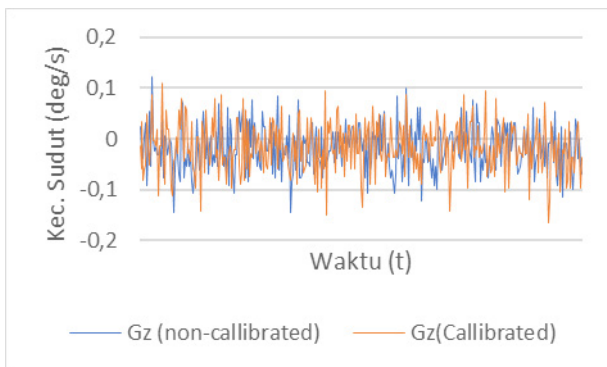




Gambar 10. Kalibrasi gyroscope sumbu x



Gambar 11. Kalibrasi gyroscope sumbu y

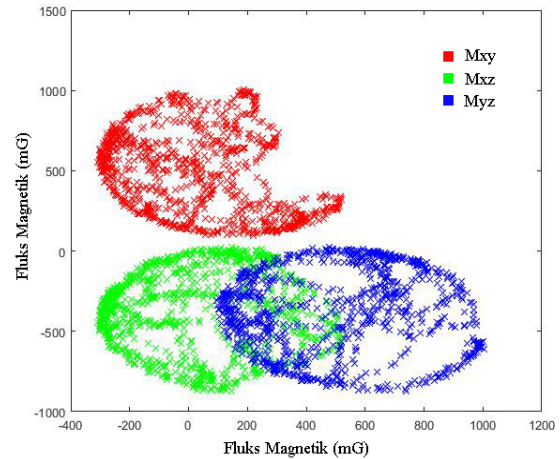


Gambar 12. Kalibrasi gyroscope sumbu z

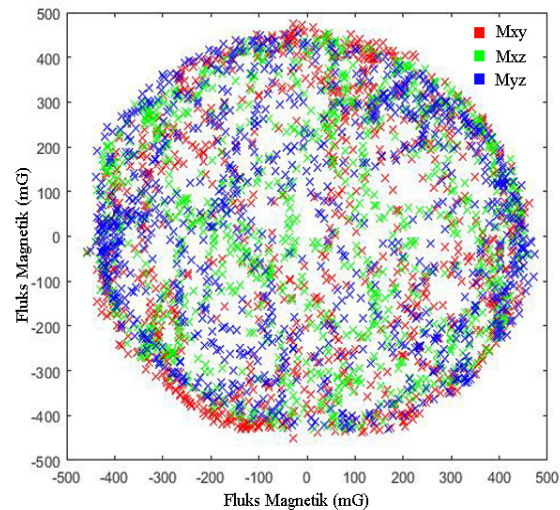
dikalibrasi (kurva orange).

Kalibrasi *gyroscope* dilakukan dengan memastikan sensor berada dalam keadaan diam. Kemudian program kalibrasi dijalankan untuk menghitung rata-rata *offset* yang terbaca pada tiap sumbu dalam satuan derajat per detik. Nilai *offset* ini kemudian akan mengurangi nilai pembacaan *gyroscope*. Perbandingan data *gyroscope* sebelum dan sesudah dikalibrasi untuk setiap sumbu *x*, *y*, dan *z* masing-masing diilustrasikan pada Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12.

Kalibrasi magnetometer dilakukan dengan menjalankan program kalibrasi. Program akan memerintahkan untuk menggerakkan sensor dalam lintasan seperti angka 8 selama beberapa detik. Kemudian sensor akan membaca nilai kemagnetan disekitar sensor yang disebabkan oleh sifat elektromagnetik di sekitar rangkaian prototipe. Pada proses kalibrasi dihitung bias magnetometer yang disebabkan oleh *hard iron* dengan mengambil nilai tengah



Gambar 13. Plot hubungan sumbu pada magnetometer sebelum dikalibrasi



Gambar 14. Plot hubungan sumbu pada magnetometer sesudah dikalibrasi

penjumlahan nilai maksimum dengan nilai minimum masing-masing sumbu magnetometer. Kemudian dihitung juga perbedaan skala masing-masing sumbu yang disebabkan oleh *soft iron* dengan mengambil nilai tengah dari selisih antara nilai maksimum dan nilai minimum.

Untuk memastikan bahwa nilai bias dan skala yang terhitung sudah tepat, maka dilakukan *plotting* untuk melihat korelasi antara masing-masing sumbu. Proses kalibrasi yang benar akan menunjukkan titik tengah lingkaran antara *plot* sumbu *xy* (merah), *xz* (hijau) dan *yz* (biru) berada pada titik 0 [20]. Perbandingan data sensor untuk *plotting* hubungan sumbu pada magnetometer ketika sebelum dan setelah dikalibrasi masing-masing ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14.

### C. Pengujian Sistem

#### 1. Lokasi pengujian

Pengujian sistem dilakukan dengan membandingkan nilai pengukuran jarak yang terukur dengan nilai jarak sebenarnya. Lokasi pengujian dilaksanakan di Lapangan Naga, Kecamatan Tapaktuan, Kabupaten Aceh Selatan dengan koordinat 3.258936 LU dan 97.187749 BT. Sistem

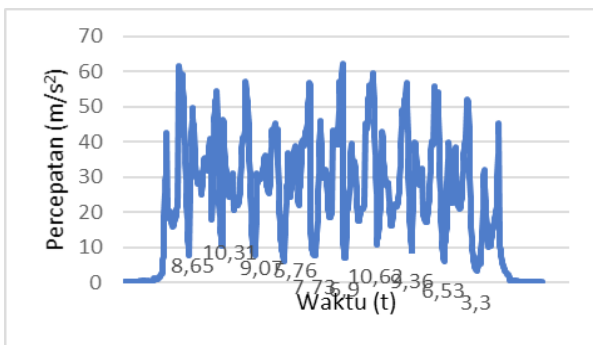


Gambar 15. Lintasan pengujian sistem

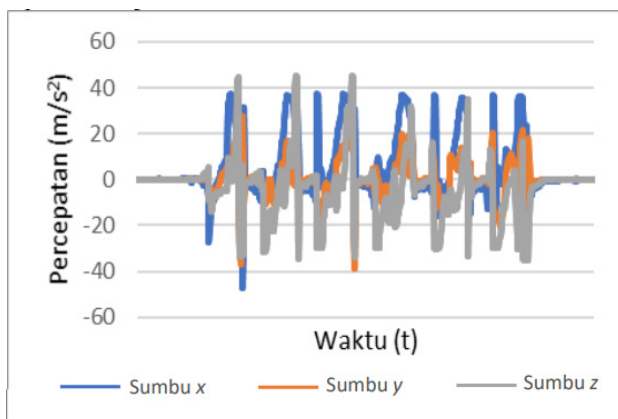
diuji pada lintasan lurus yang berjarak 25m, 50m dan 75m dengan masing-masing jarak sebanyak 5 sampel pengukuran. Tampak lokasi pengujian dapat dilihat pada Gambar 15.

2. Pengujian kondisi statis sistem

Noise pada nilai percepatan menyebabkan adanya kesalahan pengintegralan yang berakibat nilai kecepatan tidak berada pada posisi nol meskipun alat berada pada kondisi statis. Maka dari itu nilai *threshold* pada fungsi ZUPT diperlukan untuk mengetahui kapan sistem dianggap berada pada kondisi statis berdasarkan nilai percepatannya. Grafik pengujian nilai ZUPT pada saat



Gambar 16. Grafik pengujian kondisi statis sistem



Gambar 17. Pengukuran sinyal percepatan

berlari atau kondisi statis sistem ditunjukkan pada Gambar 16.

Dari beberapa langkah yang telah dilakukan, maka dapat diambil suatu *threshold* yang menjadi titik dikembalikannya nilai kecepatan pada posisi nol. Penentuan nilai *threshold* diambil dari rata-rata percepatan pada titik terendah setiap langkah yang dilakukan. Dari Gambar 16 di atas rata-rata dari setiap titik terendah didapatkan bernilai 7,823 m/s<sup>2</sup>

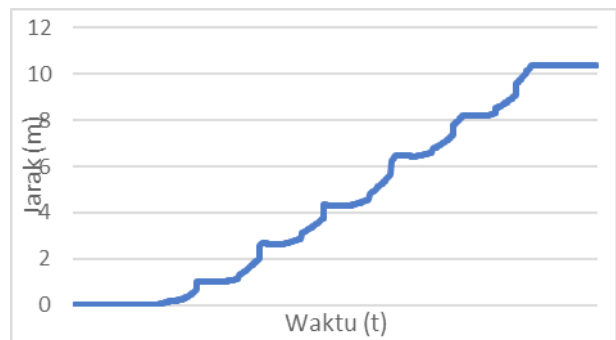
3. Pengujian fungsionalitas sistem

Pengujian fungsionalitas sistem dilakukan untuk melihat bahwa alat mampu melakukan pengintegralan sinyal percepatan sehingga menghasilkan sinyal kecepatan dan jarak. Gambar 17 menunjukkan hasil pengukuran sinyal percepatan, kecepatan dan jarak dengan kurva biru pada sumbu x, orange pada sumbu y, dan abu-abu pada sumbu z. Dapat terlihat bahwa nilai percepatan setiap sumbu mengalami perubahan yang cepat setiap waktu. Sedangkan Gambar 18 dan Gambar 19 masing-masing menunjukkan hasil pengukuran sinyal kecepatan dan jarak

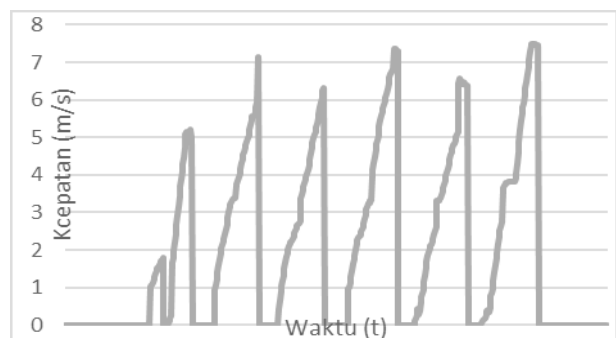
Berdasarkan Gambar 17 sampai Gambar 19 di atas dapat dilihat bahwa nilai jarak berhasil didapatkan dari pengintegralan sinyal percepatan dan kecepatan. Tampak pada sinyal jarak yang mengalami kenaikan pada setiap langkah yang telah dilakukan.

4. Pengujian keakuratan sistem

Pengujian keakuratan sistem dilakukan untuk menguji keakuratan pengukuran jarak sebenarnya dengan jarak yang terukur oleh sistem. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1, *error* pengukuran terbesar mencapai 1.58% dan *error* terkecilnya yaitu 0.22%.



Gambar 18. Pengukuran sinyal kecepatan



Gambar 19. Pengukuran sinyal jarak

Tabel 1 Pengukuran keakuratan sistem

Jarak (m)	Pengukuran (m)						% error
	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	
25	23.8	26.1	24.3	25.1	23.5	24.6	1.58
50	50.6	51.2	51.9	49.8	48.4	50.4	0.82
75	72.9	70.2	70.2	76.4	79.2	75.1	0.22

Tabel 2 Pengujian konsumsi daya prototipe

Tegangan Input (V)	Arus Pengukuran (mA)						Daya (W)
	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	
3.84	65.7	64.8	63.8	65.3	66	65.12	0.25

### 5. Pengujian konsumsi daya prototipe

Pengujian konsumsi daya prototipe dilakukan untuk mengetahui arus dan daya rata-rata prototipe serta mengestimasi durasi penggunaan alat. Pada Tabel 2 dapat dilihat hasil pengukuran arus rangkaian.

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa arus rata-rata yang mengalir pada rangkaian yaitu sebesar 65.12 mA. Dikarenakan rangkaian menggunakan baterai dengan kapasitas 1000 mAh maka dapat diestimasi durasi penggunaan alat yaitu selama  $\pm 15$  jam.

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian fungsionalitas, prototipe mampu memproses sinyal percepatan menjadi sinyal kecepatan dan mampu memproses sinyal kecepatan menjadi sinyal jarak. Hasil pengujian keakuratan pada jarak 25 m menunjukkan *error* sebesar 0.78%, pada jarak 50 m dengan *error* sebesar 2.53% dan pada jarak 75 m dengan *error* 2.15%. Prototipe yang dirancang mampu mengukur jarak lari laun baik dalam kondisi *outdoor* maupun *indoor* dikarenakan pengukuran dilakukan berdasarkan percepatan sensor.

## REFERENSI

- [1] S. R. W. Putra, "Hubungan Vo2 Maksimal Dan Kekuatan Otot Hamstring Terhadap Ketahanan Lari 400 Meter Pada Atlet Lari Di Kota Semarang," Phd Thesis, Unimus, 2017.
- [2] S. Purwanto, "Perbedaan Pengaruh Antara Latihan Jogging Dan Jalan Cepat Terhadap Tingkat Kesegaran Jasmani," *J. ISSA J. Ilmu Keolahragaan*, vol. 1, no. 1, pp. 85–90, 2012.
- [3] P. Düking, A. Hotho, H.-C. Holmberg, F. K. Fuss, and B. Sperlich, "Comparison of non-invasive individual monitoring of the training and health of athletes with commercially available wearable technologies," *Front. Physiol.*, vol. 7, p. 71, 2016.
- [4] Y. Schutz and A. Chambaz, "Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth?," *Eur. J. Clin. Nutr.*, vol. 51, no. 5, pp. 338–339, 1997.
- [5] C. Cummins, R. Orr, H. O'Connor, and C. West, "Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review," *Sports Med.*, vol. 43, no. 10, pp. 1025–1042, 2013.
- [6] P. Baranski and P. Strumillo, "Enhancing positioning accuracy in urban terrain by fusing data from a GPS receiver, inertial sensors, stereo-camera and digital maps for pedestrian navigation," *Sensors*, vol. 12, no. 6, pp. 6764–6801, 2012.
- [7] A. Åkerberg, M. Lindén, and M. Folke, "How accurate are pedometer cell phone applications?," *Procedia Technol.*, vol. 5, pp. 787–792, 2012.
- [8] C. Smith-Spangler, A. L. Gienger, N. Lin, R. Lewis, C. D. Stave, and I. Olkin, "Using pedometers to increase physical activity: a systematic review," *JAMA*, vol. 298, pp. 2296–2304, 2007.
- [9] W. Bumgardner. (view Feb. 2020). What Is the Best Way to Measure How Far You've Walked? [Online]. Available: <https://www.verywellfit.com/how-to-measure-how-far-youre-walking-3975561>.
- [10] S. D. Vincent and C. L. Sidman, "Determining measurement error in digital pedometers," *Meas. Phys. Educ. Exerc. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 19–24, 2003.
- [11] M. A. R. Wicaksono, F. Kurniawan, and L. Lasmadi, "Kalman Filter untuk Mengurangi Derau Sensor Accelerometer pada IMU Guna Estimasi Jarak," *Aviat. Electron. Inf. Technol. Telecommun. Electr. Controls*, vol. 2, no. 2, pp. 145–160, 2020.
- [12] Project IoT. (view April 2022). Perbedaan module wifi ESP8266 vs ESP32. [Online]. Available: <https://www.nyebarilmu.com/perbedaan-module-wifi-esp8266-vs-esp32/>.
- [13] D. B. Nugroho, J. D. Setiawan, and A. Widodo, "Perancangan Dan Pembuatan Platform Validasi Inertial Measurement Unit (IMU)," Mechanical Engineering Department, Faculty Engineering of Diponegoro University, 2012.
- [14] S. Iskandar, "Perancangan dan implementasi perekam detak jantung portable," PhD Thesis, Universitas Komputer Indonesia, 2014.
- [15] Components101. (view March, 2021). Monochrome 0.96" OLED Display (SSD1306). <https://components101.com/displays/oled-display-ssd1306>.
- [16] J. C. Alvarez, R. C. González, D. Alvarez, A. M. López, and J. Rodríguez-Uría, "Multisensor approach to walking distance estimation with foot inertial sensing," in *Proc. of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2007, pp. 5719–5722.
- [17] A. M. Sabatini, C. Martelloni, S. Scapellato, and F. Cavallo, "Assessment of walking features from foot inertial sensing," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 52, no. 3, pp. 486–494, 2005.
- [18] K. Winner. (view April 2022). Affordable 9 DoF Sensor Fusion. [Online]. Available: <https://github.com/kriswiner/MPU6050/wiki/Affordable-9-DoF-Sensor-Fusion>.
- [19] R. Olfati-Saber, "Distributed Kalman filtering for sensor networks," in *Proc. of IEEE Conference on Decision and Control*, 2007, pp. 5492–5498.
- [20] R. Zhi. (view April, 2022). A drift eliminated attitude & position estimation algorithm in 3D. [Online]. Available: <https://scholarworks.uvm.edu/graddis/450/>.