

Peningkatan Akurasi Sensor GY-521 MPU-6050 dengan Metode Koreksi Faktor Drift

Fakhrudin Mangkusamito¹, Dista Yoel Tadeus¹, Heru Winarno², Eko Ariyanto²

¹ STr. Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi Undip, Semarang, Indonesia

² STr. Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi Undip, Semarang, Indonesia

fakhm17@lecturer.undip.ac.id

Diterima 14 Oktober 2020

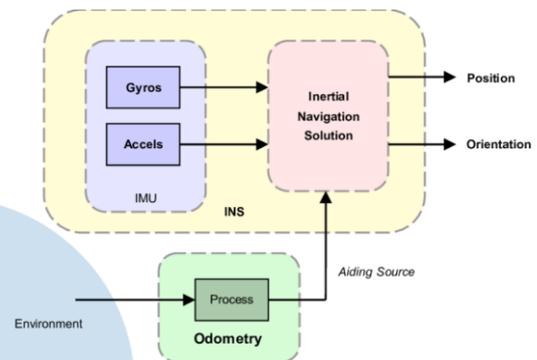
Disetujui 11 November 2020

Abstract— GY-521 MPU-6050 Module is a core module MPU-6050, which is a 6 axis Motion Processing Unit. This sensor can be categorized as an Inertial Measurement Unit (IMU) sensor, which utilizes measurement systems such as gyroscopes and accelerometers to estimate the relative position, velocity, and acceleration of an object. A common accuracy problem in using IMU sensors, including the GY-521 MPU-6050, is the drifting phenomenon. This phenomenon results in a deviation between the actual conditions (position, angular velocity) and the sensor readings. Drift is caused by the accumulation of errors that arise from calculating the drift error correction method at the sensor output using the calibration of the calculation of the average offset error sensor and the sensor fusion method between the information obtained from the gyroscope and accelerometer in the module, the tests were carried out using the Arduino Uno microcontroller. From the test results, it is found that the combination of the initial system calibration implementation and the use of the fusion sensor concept can provide better performance with the MSE analysis results for the roll position of 0.0029° and the pitch position of 0.0047° and the drifting error rate at the yaw angle position of 0.0082° / second or down 62.72%.

Index Terms— IMU, MPU-6050, drifting, calibration, sensor fusion, Arduino

I. PENDAHULUAN

Inertial Measurement Unit (IMU) merupakan alat yang memanfaatkan sistem pengukuran seperti gyroskop dan akselerometer untuk memperkirakan posisi relatif, kecepatan, dan akselerasi dari suatu benda. Secara umum IMU digunakan untuk keperluan sistem navigasi [1]. Untuk keperluan sistem navigasi diperlukan informasi kecepatan sudut dan posisi sudut [2], dan seringkali digunakan sensor tambahan seperti magnetometer dan sensor temperatur [3]. Sensor IMU dapat pula diintegrasikan dengan sistem odometri untuk menghasilkan informasi posisi dan referensi untuk sistem autonomus di robot pertambangan seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 1 berikut [4].



Gambar 1. Integrasi IMU-Odometri untuk menghasilkan informasi navigasi

Sensor jenis *microelectromechanical systems* (MEMS), merupakan jenis sensor yang dibangun berdasarkan teknologi mikrosistem yang didefinisikan sebagai elemen mekanik dan elektromekanik dalam bentuk mikro dibuat dengan dengan teknik pabrikan mikro. Selain sifatnya yang *compact* dan berdimensi relative rendah, tipe sensor MEMS memiliki konsumsi daya yang rendah, sehingga cocok digunakan untuk keperluan sistem navigasi [5]. GY-521 MPU-6050 Module adalah sebuah modul berinti MPU-6050 yang merupakan 6 axis Motion Processing Unit dengan penambahan regulator tegangan dan beberapa komponen pelengkap lainnya yang membuat modul ini siap dipakai dengan tegangan supply sebesar 3-5VDC. Sensor MPU-6050 berisi sebuah MEMS Accelerometer dan sebuah MEMS Gyro yang saling terintegrasi (<https://invensense.tdk.com/products/moti-on-tracking/6-axis/mpu-6050/>). Selain dimensi yang tepat diperlukan pula performa dan akurasi yang baik dari sensor IMU agar dapat menghasilkan performa navigasi yang optimal untuk berbagai keperluan navigasi [6][7][8][9]. Sensor GY-521 MPU-6050 banyak digunakan untuk berbagai aplikasi karena mudah digunakan, dapat menghasilkan performa yang baik dan memiliki harga yang murah [10].

Permasalahan akurasi yang umum dalam penggunaan sensor IMU termasuk GY-521 MPU-6050 adalah fenomena *drifting*. Fenomena ini mengakibatkan adanya deviasi antara kondisi aktual (posisi, kecepatan sudut) dan hasil pembacaan sensor.

Drift disebabkan oleh akumulasi kesalahan yang muncul dari perhitungan integral dari akselerasi[11]. Bias error yang terkecil yang pernah dilaporkan akibat perubahan temperatur untuk sensor ini ialah sebesar $62.71^\circ/\text{jam}$ untuk penggunaan pada range temperatur $-40^\circ\text{C}-85^\circ\text{C}$ [12]. Untuk mengetahui bentuk *error* tersebut seringkali desainer dapat membuat model matematisnya[13]. Dan untuk mengkompensasi maupun mengkoreksi kesalahan dapat digunakan beberapa filter seperti filter Kalman [14], atau filter dengan algoritma cerdas berbasis *fuzzy* [15], atau dengan mengkombinasikan sensor IMU dengan sensor lain seperti GPS dalam skema sensor *fusion* [16]. Implementasi filter tersebut dapat memperbaiki performa sensor namun terdapat kompleksitas dalam implementasinya dalam bentuk program dan tambahan beban komputasi, khususnya bila diimplementasikan dengan menggunakan mikrokontroler biasa [17]. Penelitian ini mengajukan metode koreksi kesalahan *drift* pada output sensor GY-521 MPU-6050 yang mudah dalam implementasi serta memiliki beban komputasi yang ringan menggunakan kalibrasi hasil perhitungan rata-rata *offset error* sensor dan metode sensor fusion antara informasi yang diperoleh dari gyroscope dan accelerometer di dalam modul. Output sensor yang akan diperbaiki performanya ialah posisi sudut pada aksis x, y serta z. Pengujian ini dibangun dalam sebuah sistem yang berbasis mikrokontroler Arduino uno.

II. METODOLOGI

A. Sistem Pengukuran Sudut

Sistem pengukuran sudut pada penelitian ini terdiri dari sebuah sensor GY-521 MPU-6050, Arduino Uno untuk sistem akuisisi data, komputasi dan komunikasi data, serta sebuah PC untuk menampilkan data dalam bentuk grafik. Diagram dari sistem tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. berikut



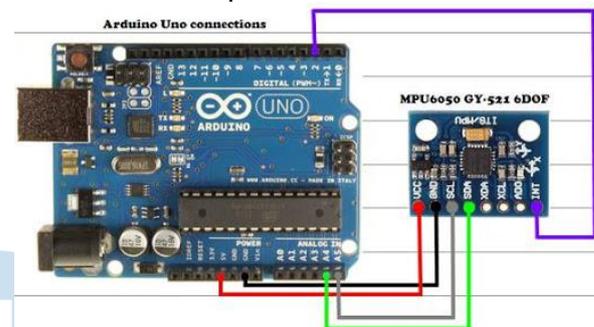
Gambar 1. Diagram Sistem

Sesuai Gambar 1. data mentah yang dihasilkan oleh sensor akan diolah oleh Arduino Uno, untuk kemudian dikirim ke PC melalui koneksi serial, dan hasilnya akan ditampilkan dalam bentuk grafik serta tabel dalam Ms. Excel. Spesifikasi sensor GY-521 MPU-6050 secara umum ialah sebagai berikut[18]:

- Tegangan kerja 2,375 V- 3,46 V
- Terdiri dari 3 sumbu MEMS Gyroscope dan MEMS Accelerometer dengan masing-masing spesifikasi :
 - ✓ MEMS Gyroscope :

- Output digital dengan bentang skala ± 250 , ± 500 , ± 1000 , dan ± 2000 $^\circ/\text{detik}$
- 16 bit ADC
- Arus operasi 3,6 mA
- Arus *standby* 5 μA
- ✓ MEMS Accelerometer
 - Output digital dengan bentang skala $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ dan $\pm 16g$.
 - 16 bit ADC
 - Arus operasi 500 μA

Sedangkan koneksi *wiring* antara sensor MPU 6050 dan Arduino Uno diperlihatkan oleh Gambar 2 berikut



Gambar 2. Diagram *wiring* antara Arduino Uno dan MPU 6050

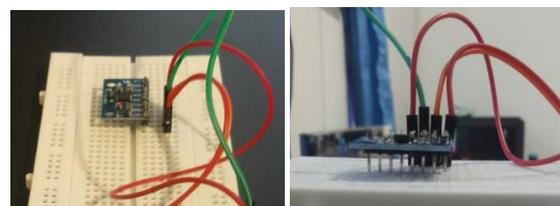
B. Pengambilan Data Sensor

Pada pengujian ini digunakan nilai *full scale range* (FSR) untuk masing-masing accelerometer dan gyroscope sesuai *default* sistem yaitu $+2g$ dan 250 derajat/sekon. Adapun desainer dapat memilih nilai FSR yang diinginkan dengan menggunakan konfigurasi register sesuai dengan datasheet seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3. berikut

AFS_SEL	Full Scale Range	LSB Sensitivity
0	$\pm 2g$	16384 LSB/g
1	$\pm 4g$	8192 LSB/g
2	$\pm 8g$	4096 LSB/g
3	$\pm 16g$	2048 LSB/g

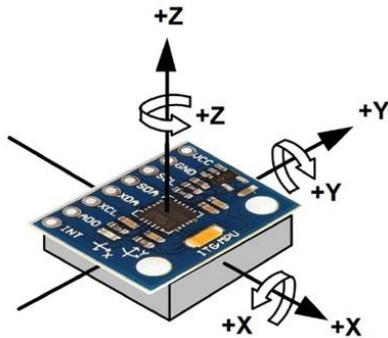
Gambar 3. Konfigurasi register untuk FSR sensor

Pengujian dilakukan dengan menempatkan sistem sensor pada platform datar yang diasumsikan sebagai posisi sudut 0° untuk masing-masing aksis x, y dan z. Data akan diambil selama 300 detik dengan periode sampling 0,5 detik untuk melihat fenomena *drifting* yang terjadi serta efek metode eliminasi yang diimplementasikan.



Gambar 3. Penempatan sistem sensor untuk pengujian

Orientasi aksis dari modul sensor MPU-6050 diperlihatkan pada Gambar 4. berikut



Gambar 4. Orientasi aksis pada sensor MPU-6050

Selanjutnya akan dilakukan beberapa skenario pengujian untuk melihat performa sistem yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Akuisisi data posisi sudut dari hasil pembacaan gyroscope secara langsung.
2. Akuisisi data posisi sudut dengan menggunakan konsep sensor *fusion* antara pembacaan gyroscope dan pembacaan accelerometer.
3. Akuisisi data posisi sudut dengan menggunakan kalibrasi awal sistem pembacaan gyroscope.
4. Akuisisi data posisi sudut dengan menggunakan kalibrasi awal sistem dan konsep sensor *fusion*.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Sesuai skenario pengujian yang dijelaskan pada bab sebelumnya maka didapat hasil pengujian sebagai berikut

A. Akuisisi Data Posisi Sudut dari Hasil Pembacaan Gyroscope Secara Langsung

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapat grafik sebagai berikut



Gambar 5. Hasil pengujian Skenario 1

Gambar 5. memperlihatkan bahwa fenomena *drifting* terjadi untuk pembacaan ketiga posisi sudut, baik untuk sudut *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Dari hasil pengujian dapat diketahui dengan nilai pembacaan awal *roll* = $0,05^\circ$, *pitch* = $-0,01^\circ$, dan *yaw* = $0,00^\circ$, dan nilai akhir pembacaan *roll* = $25,19^\circ$, *pitch* = $18,10^\circ$, dan *yaw* = $-6,73^\circ$ maka dapat diketahui dalam kurun waktu 300

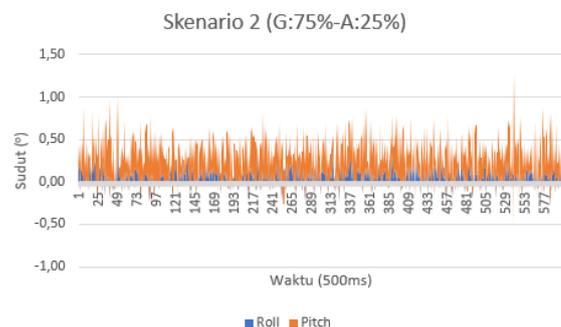
detik laju kesalahan *drifting* untuk *roll* ialah sebesar $0,084\%$ detik, sedangkan untuk *pitch* ialah sebesar $0,06\%$ detik, dan *yaw* sebesar $0,022\%$ detik.

B. Akuisisi Data Posisi Sudut Dengan Menggunakan Konsep Sensor Fusion Antara Pembacaan Gyroscope dan Pembacaan Accelerometer.

Pada skenario 2 ini hanya dilakukan pengambilan data pada sudut *roll* dan *pitch*, karena kita tidak dapat mengambil informasi sudut *yaw* dari accelerometer[19]. Pada skenario kedua ini akan dilakukan beberapa pengujian dengan melakukan tingkat kepercayaan sensor, yaitu

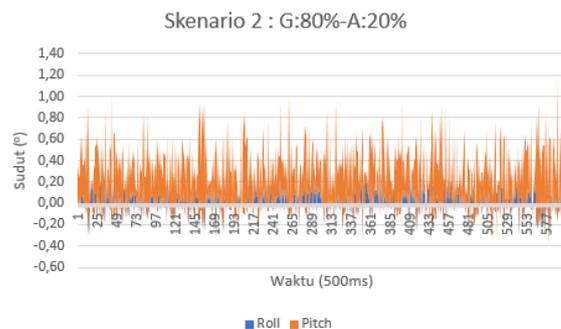
- gyroscope 75% - accelerometer 25%
- gyroscope 80% - accelerometer 20%
- gyroscope 96% - accelerometer 4%.

Hasil pengujian yang telah dilakukan pada skenario 2 ini dibuat dalam bentuk grafik sebagai berikut



Gambar 6. Hasil pengujian Skenario 2 : gyroscope 75% - accelerometer 25%

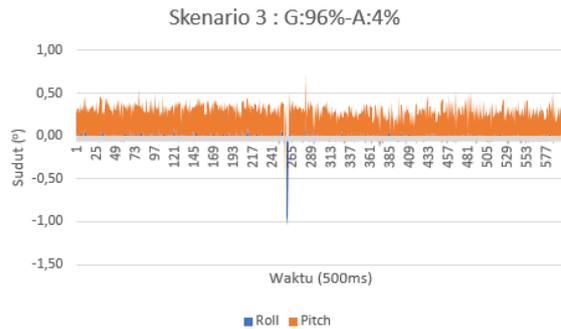
Gambar 6 memperlihatkan bahwa hasil fusion dengan penambahan accelerometer dapat membantu mengoreksi fenomena *drifting* yang terjadi pada gyroscope, dan dari hasil analisis *mean squared error* (MSE) untuk melihat performa sensor fusion pada skenario ini didapat nilai MSE untuk posisi *roll* sebesar $0,01^\circ$ dan posisi *pitch* sebesar $0,14^\circ$. Kemudian dari hasil pengujian selanjutnya dari skenario 2 didapatkan grafik sebagai berikut



Gambar 7. Hasil pengujian Skenario 2 : gyroscope 80% - accelerometer 20%

Dari hasil pengujian yang ditunjukkan oleh Gambar 7, diperoleh analisis MSE untuk posisi *roll* sebesar $0,01^\circ$ dan posisi *pitch* sebesar $0,21^\circ$. Sedangkan untuk

pengujian skenario 2 dengan set ketiga didapat hasil sebagai berikut



Gambar 8. Hasil pengujian Skenario 2 : gyroscope 96% - accelerometer 4%

Dari hasil pengujian yang ditunjukkan oleh Gambar 8, diperoleh analisis MSE untuk posisi *roll* sebesar $0,00^\circ$ dan posisi *pitch* sebesar $0,11^\circ$.

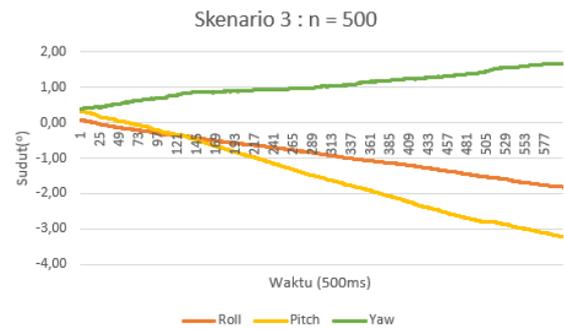
C. Akuisisi Data Posisi Sudut dengan Menggunakan Kalibrasi Awal Sistem Pembacaan Gyroscope.

Pada skenario 3 ini akan dilakukan koreksi factor *drifting* dengan melakukan kalibrasi pengukuran, yaitu dengan mengambil data pengukuran dalam jumlah n-tertentu dan menghitung rata-rata kesalahannya. Karena sistem ditempatkan pada platform rata dan tidak bergerak, maka nilai keluaran seharusnya bernilai 0, dari situ kita dapat menghitung rata-rata kesalahan. Dari hasil pengujian kalibrasi dengan n-tertentu didapat rata-rata kesalahan perhitungan yang diperlihatkan oleh Tabel 1 berikut

Tabel 1 Rata-rata *offset* dari keluaran MPU-6050

No	n	Accelerometer		Gyroscope		
		x	y	x	y	z
1	100	-0.05	0.29	0.12	0.10	-0.05
2	200	0.00	0.28	0.12	0.09	-0.05
3	500	-0.04	0.30	0.12	0.10	-0.05

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa dengan melakukan n (100,200,500) pengambilan data untuk melakukan kalibrasi didapatkan bahwa nilai *offset* dari keluaran sensor relatif sama. Dengan menggunakan nilai n = 500 sebagai faktor koreksi, didapat hasil sebagai berikut

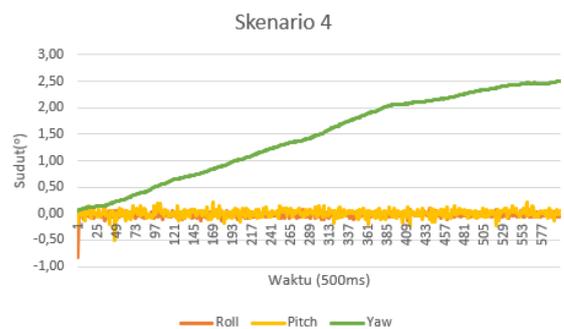


Gambar 9. Hasil pengujian Skenario 3 dengan n =500

Gambar 9. memperlihatkan bahwa kalibrasi awal yang dilakukan dengan menghitung nilai *offset* dari pembacaan sensor, dapat mengurangi fenomena *drifting* yang terjadi untuk pembacaan ketiga posisi sudut, baik untuk sudut *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Dari hasil pengujian dapat diketahui dengan nilai pembacaan awal *roll* = $0,07^\circ$, *pitch* = $-0,25^\circ$, dan *yaw* = $0,06^\circ$, dan nilai akhir pembacaan *roll* = $-1,82^\circ$, *pitch* = $-1,41^\circ$, dan *yaw* = 4.88° maka dapat diketahui dalam kurun waktu 300 detik laju kesalahan *drifting* untuk *roll* ialah sebesar $-0,0063^\circ$ / detik, sedangkan untuk *pitch* ialah sebesar $-0,0038^\circ$ / detik, dan *yaw* sebesar 0.0161° / detik. Hasil tersebut memperlihatkan secara umum proses kalibrasi yang dilakukan dapat memperbaiki performa sistem.

D. Akuisisi Data Posisi Sudut Dengan Menggunakan Kalibrasi Awal Sistem dan Konsep Sensor Fusion

Pada skenario 4, dilakukan kombinasi implementasi kalibrasi awal untuk menghilangkan nilai *offset* dengan nilai n= 500 dengan konsep sensor *fusion* informasi antara sensor gyroscope dan accelerometer untuk penentuan posisi sudut *roll* dan *pitch* dengan tingkat kepercayaan sensor gyroscope sebesar 96% dan accelerometer sebesar 4%. Sedangkan pada penentuan posisi sudut *yaw* hanya digunakan metode kalibrasi awal sensor dengan nilai n = 500. Hasil dari pengujian yang dilakukan pada skenario 4 ini ditunjukkan oleh Gambar 10.



Gambar 10. Hasil pengujian Skenario 4

Dari Gambar 10 terlihat bahwa kombinasi antara kalibrasi awal dan metode *sensor fusion* dapat memperbaiki pembacaan posisi sudut *roll*, *pitch*, dan *yaw* pada sensor GY-521 MPU-6050. Analisis data

menunjukkan dengan nilai awal pembacaan sudut *roll* = $-0,82^\circ$, *pitch* = $-0,22^\circ$, dan *yaw* = $0,06^\circ$, dan nilai akhir pembacaan *roll* = $0,02^\circ$, *pitch* = $0,06^\circ$, dan *yaw* = $2,51^\circ$, maka dapat diketahui dalam kurun waktu 300 detik hasil analisis MSE untuk posisi *roll* sebesar $0,0029^\circ$ dan posisi *pitch* sebesar $0,0047^\circ$ dan laju kesalahan *drifting* pada posisi sudut *yaw* sebesar $0,0082^\circ/\text{detik}$.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, modul sensor GY-521 MPU-6050 dapat dikoneksikan dengan mikrokontroler Arduino Uno secara mudah dengan protokol komunikasi serial I2C dan memberikan informasi berupa posisi sudut. Namun pada metode pembacaan dengan nilai *full scale range* secara *default*, seperti pada sistem IMU umumnya terjadi fenomena *drifting* dengan laju *error* per detik untuk posisi sudut *roll* sebesar $0,084^\circ/\text{detik}$, sedangkan untuk *pitch* sebesar $0,06^\circ/\text{detik}$, dan *yaw* sebesar $0,022^\circ/\text{detik}$. Dari implementasi metode koreksi yang dilakukan, kalibrasi awal sistem mampu memperbaiki performa pembacaan sensor dalam 300 detik dengan menurunkan laju *error* per detik untuk sudut *roll* sebesar $92,5\%$, untuk posisi sudut *pitch* sebesar $93,67\%$ dan untuk posisi sudut *yaw* sebesar $26,81\%$. Metode *sensor fusion* yang dilakukan dengan mengkombinasikan informasi dari gyroscope dan accelerometer pada pembacaan posisi sudut *roll* dan *pitch* juga dapat melakukan koreksi data dan membuat pembacaan lebih stabil. Dengan beberapa metode koreksi kesalahan yang telah dilakukan pada pengujian ini didapat bahwa pada skenario 4 yaitu dengan kombinasi implementasi kalibrasi awal sistem dan penggunaan konsep *fusion sensor* mampu memberikan performa yang lebih baik dengan hasil analisis MSE untuk posisi *roll* sebesar $0,0029^\circ$ dan posisi *pitch* sebesar $0,0047^\circ$ dan laju kesalahan *drifting* pada posisi sudut *yaw* sebesar $0,0082^\circ/\text{detik}$ atau turun $62,72\%$.

Terdapat beberapa catatan yang perlu diperhatikan dari pengujian yang dilakukan, metode koreksi ini dapat memberikan hasil yang baik dalam pembacaan sudut *roll*, *pitch*, dan *yaw* dengan menggunakan sensor IMU berbasis gyroscope dan accelerometer seperti modul GY-521 MPU-6050. Namun faktor *uncertainty* dari sensor tersebut perlu tetap diperhatikan, hal ini dapat kita lihat pada performa pengujian skenario 3 dan skenario 4. Dengan faktor koreksi *offset* yang sama, performa pembacaan sudut *yaw* dapat menjadi berbeda, walaupun cenderung lebih baik, juga dapat dilihat dari pembacaan nilai awal yang berbeda pada penempatan sensor yang sama selama pengujian. Catatan kecil pengujian ini perlu diperhatikan terutama dalam implementasi untuk sistem yang membutuhkan ketepatan tinggi dan rentang operasional yang relatif lama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Ahmad, R. A. R. Ghazilla, N. M. Khairi, and V. Kasi, "Reviews on Various Inertial Measurement Unit (IMU) Sensor Applications," *Int. J. Signal Process. Syst.*, 2013, doi: 10.12720/ijsp.1.2.256-262.
- [2] G. M. Siouris, "Missile Guidance and Control Systems," *Appl. Mech. Rev.*, 2004, doi: 10.1115/1.1849174.
- [3] C. F. Lin, *Modern Navigation, Guidance, and Control Processing*, no. v. 2. Prentice Hall, 1991.
- [4] D. Reid, J. Ralston, M. Dunn, and C. Hargrave, "A major step forward in continuous miner automation," Jan. 2011.
- [5] H. Sheng and T. Zhang, "MEMS-based low-cost strap-down AHRS research," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, 2015, doi: 10.1016/j.measurement.2014.09.041.
- [6] W. H. Baird, "An introduction to inertial navigation," *Am. J. Phys.*, 2009, doi: 10.1119/1.3081061.
- [7] B. Finney, "Navigation," in *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition*, 2015.
- [8] E. H. C. Harik, F. Guerin, F. Guinand, J. F. Brethe, and H. Pelvillain, "UAV-UGV cooperation for objects transportation in an industrial area," 2015, doi: 10.1109/ICIT.2015.7125156.
- [9] C. Laoudias, A. Moreira, S. Kim, S. Lee, L. Wirola, and C. Fischione, "A survey of enabling technologies for network localization, tracking, and navigation," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. 2018, doi: 10.1109/COMST.2018.2855063.
- [10] O. B. Kharisma, A. Wildan, Auliaullah, and F. E. Laumal, "Implementasi Sensor MPU 6050 untuk Mengukur Kesetimbangan Self Balancing Robot Menggunakan Kontrol PID," *Semin. Nas. Teknol. Informasi, Komun. dan Ind.*, 2018.
- [11] B. Siciliano and O. Khatib, *Springer handbook of robotics*. 2016.
- [12] D. Yang, J. K. Woo, S. Lee, J. Mitchell, A. D. Challoner, and K. Najafi, "A Micro Oven-Control System for Inertial Sensors," *J. Microelectromechanical Syst.*, 2017, doi: 10.1109/JMEMS.2017.2692770.
- [13] H. Haiying, "Modeling inertial sensors errors using Allan variance," *UCEGE reports number 20201, Master's thesis, Univ. Calgary, Sept.*, 2004.
- [14] A. I. Mourikis and S. I. Roumeliotis, "A multi-state constraint Kalman filter for vision-aided inertial navigation," 2007, doi: 10.1109/ROBOT.2007.364024.
- [15] H. Nourmohammadi and J. Keighobadi, "Fuzzy adaptive integration scheme for low-cost SINS/GPS navigation system," *Mech. Syst. Signal Process.*, 2018, doi: 10.1016/j.ymsp.2017.06.030.
- [16] F. Caron, E. Duflos, D. Pomorski, and P. Vanheeghe, "GPS/IMU data fusion using multisensor Kalman filtering: Introduction of contextual aspects," *Inf. Fusion*, 2006, doi: 10.1016/j.inffus.2004.07.002.
- [17] B. Mccarron, "Low-Cost IMU Implementation via Sensor Fusion Algorithms in the Arduino Environment," *Calif. Polytech. State Univ.*, 2013.
- [18] D. Anggaraeni, R. Ranto, P. Estu Broto, and A. Marta, "PERFORMANSI KARAKTERISTIK SENSOR PENGUKUR KECEPATAN SUDUT BERBASIS MEMS MPU 6050 DAN ADXL 335," 2019, pp. 27–33.
- [19] M. Pedley, "Tilt Sensing Using a Three-Axis Accelerometer," 2013.