

# IMPLEMENTASI DAN ANALISIS KALMAN FILTER PADA *SENSOR INERTIAL MEASUREMENT UNIT (IMU)*

## IMPLEMENTATION AND ANALYSIS OF FILTER KALMAN ON *SENSOR INERTIAL MEASUREMENT UNIT (IMU)*

Fadila rahmadany<sup>1</sup>, Raditiana Patmasari, S.T., M.T.<sup>2</sup>, Sofia Saidah, S.T., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Jln. Telekomunikasi No.1 Terusan Buah Batu Bandung 40257 Indonesia

[fadilarahmadany91@gmail.com](mailto:fadilarahmadany91@gmail.com), [iwijayanto@telkomuniversity.ac.id](mailto:iwijayanto@telkomuniversity.ac.id)

### ABSTRAK

Sensor *Inertial Measurement Unit (IMU)*, pada kondisi riilnya sensor IMU yang dijual di pasaran jauh lebih efisien dan mudah didapat tetapi memiliki output sinyal yang masih sangat banyak *noise*. Untuk mengatasi masalah yang disebutkan sebelumnya maka dibutuhkan suatu filter yang sesuai dengan karakter sensor dan harus bisa terukur setiap koefisiennya. Dipilih Kalman Filter untuk menentukan koefisien terbaik yang bersifat objektif terhadap sensor IMU agar didapatkan fleksibilitas tinggi bahkan lintas *platform*. Dimana semua komponen dapat terukur tidak berdasarkan *trial and error*. Untuk aplikasi nyata diterapkan di teknologi *balancing*. Contohnya kapal tanpa awak, drone, dan gimbal kamera.

Kemudian dilakukan pengujian terhadap sensor yang telah diterapkan algoritma Kalman Filter, Setiap pengujian di dapatkan data sensor yaitu pengujian menggunakan drone didapatkan *error* rata-rata parameter *Accelerometer* terhadap sumbu x sebesar 2.058%, terhadap sumbu y sebesar 1.269% dan rata-rata parameter *Gyroscope* terhadap sumbu x sebesar 3.382% , terhadap sumbu y sebesar 5.714%. Kemudian pengujian menggunakan kapal memiliki data *Accelerometer* terhadap sumbu x dengan *error* rata-rata sebesar 20.403%, terhadap sumbu y sebesar 43.626% dan rata-rata parameter *Gyroscope* terhadap sumbu x 145.641%, terhadap sumbu y sebesar 13.807%. Berdasarkan data referensi dan Kalman Filter maka algoritma yang diterapkan sudah berjalan dengan baik dan benar sesuai kondisi teknologi pada saat pengujian.

### ABSTRACT

*Cigarette contains nicotine substance that can make people addicted to it. Addicted to alcohol, drugs, and cigarette can influence the relax condition of the consumer. Relax condition can be observed using EEG. EEG or Electroencephalograph is an activity to record electric neuron brain activity. EEG is often used to analyze brain activity and predict the result of the emotion. Using EEG is expected to be able to observe the relax condition of active smoker.*

*Based on analysis of alpha and beta EEG signal, a system to classify the relax condition of active smokers will be made. K-Nearest Neighbor (K-NN) used as condition classify method. Besides, to improve the performance of the system, Principal Component Analysis (PCA) is used as extraction feature to reduce the dimension of EEG dataset.*

*The test results show the best accuracy on alpha signal obtained with a value of 90% and on the beta signal obtained with a value of 96.67%. And cross-correlation results indicate that each test data is similar to the train data, with an average of 83.33% in the alpha signal and 90% in the beta signal. So it can be concluded that the brain signals of people who are smoking tend to be detected as a brain signal of people on relaxed conditions.*

**Keyword :** *Cigarette, Electroencephalograph, Principal Component Analysis, K-Nearest Neighbor.*

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Teknologi balancing merupakan teknologi yang membutuhkan keseimbangan contohnya drone, kapal yang harus memiliki kestabilan tinggi dan smooth dalam pergerakannya. Teknologi tersebut pada umumnya menggunakan sensor IMU yang di *tuning* secara subjektif. Untuk menunjang efektifitas pada teknologi ini diperlukan metode *filter* dan *regresi* yang bisa *fleksible*.

Pada tugas akhir ini dipilih Kalman Filter dengan menggunakan *software* matlab dan *platform* arduino untuk menentukan koefisien terbaik yang bersifat objektif terhadap sensor IMU agar didapatkan fleksibilitas yang tinggi bahkan lintas *platform*. *Input* data yang akan dianalisis berupa *Gyroscope* dan *Accelerometer 3 axis* dimana berupa sumbu x, y, z. *Gyroscope* akan memberikan data berupa nilai sudut dan *Accelerometer* akan memberikan data berupa nilai percepatan terhadap pergerakan masing – masing sudut dari *Gyroscope*. Kemudian difilter menggunakan filter jenis Kalman Filter. Sensor yang digunakan untuk analisis adalah sensor IMU MPU6050 yang mendeteksi sudut dan percepatan, dimana data, sinyal yang *bernoise* akan di filter dengan algoritma Kalman Filter.

Tugas akhir ini dibuat bertujuan untuk menerapkan Kalman Filter dan nilai kalibrasi yang spesifik menyesuaikan *datasheet* dari modul sensor MPU6050, termasuk bentuk sinyal, dimana semua komponen dapat terukur tidak berdasarkan *trial and error*. Untuk aplikasi nyata diterapkan di teknologi *balancing*. Contohnya kapal tanpa awak dan drone .

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Kalman Filter

Kalman filter merupakan *recursive digital filter* yang dapat mengestimasi kondisi proses apapun dengan sangat efektif<sup>[3]</sup>. Algoritma *Kalman filter* merupakan sebuah filter yang efisien dan mengestimasi state pada *linear dynamic system* dari rentetan pengukuran noise. Kalman filter juga digunakan untuk mengontrol sistem yang sensitive terhadap *noise* dari lingkungan karena meminimalkan *square error*. Filter ini dapat mengurangi pengukuran yang terkena *noise* dari sensor-sensor sebelum masuk kedalam sistem kontrol.<sup>[4]</sup>

Berikut ini adalah persamaan *predict* dan *correct* dalam kalman filter:

1. Update waktu (Prediksi)

$$\text{Estimasi} \quad : \hat{x}_{k|k-1} = F\hat{x}_{k-1|k-1} + B\hat{\theta}_k \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\text{Kovariansi Error} \quad : P_{k|k-1} = FP_{k-1|k-1}F^T + Q_k \dots \dots \dots (2.2)$$

2. Update pengukuran (Koreksi)

$$\text{Kalman gain} \quad : K_k = P_{k|k-1}H^T S_k^{-1} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\text{Estimasi} \quad : \hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k \check{y}_k \dots \dots \dots (2.4)$$

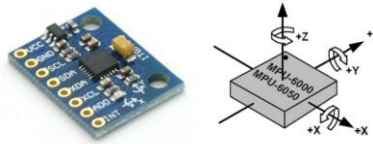
$$\text{Kovariansi Error} \quad : P_{k|k} = (I - K_k H)P_{k|k-1} \dots \dots \dots (2.5)$$

### 2.2 sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*)

IMU adalah instrumentasi elektronik yang digunakan untuk mengukur kecepatan, orientasi, dan gaya gravitasi dengan menggunakan *accelerometer* dan *gyroscope*.<sup>[4]</sup> Atau IMU terdiri dari kombinasi *accelerometer* (sensor percepatan) dan *gyroscope* (sensor angular) untuk menjejaki keberadaan dan pergerakan suatu benda. *Accelerometer* digunakan untuk mengukur percepatan suatu benda dan *gyroscope* digunakan untuk mengukur rotasi dari suatu benda<sup>[4]</sup> IMU mempertahankan 6-degree-of-freedom (DOF) yang memperkirakan gerakan yaitu posisi (X Y Z) dan orientasi (roll, pitch, yaw).<sup>[4]</sup> Sebuah IMU biasanya merupakan kombinasi dari sebuah 3-axis *gyroscope* dan 3-axis *accelerometer*.<sup>[4]</sup>

### 2.3 Modul MPU6050

Modul MPU6050 GY 521 yang selanjutnya disingkat menjadi MPU6050 adalah perangkat terpadu pertama yang memiliki 6 aksis *motion tracking*. Pada modul ini terdapat kombinasi dari 3 aksis *gyroscope* dan 3 aksis *accelerometer*.<sup>[3]</sup> Data keluaran dari modul ini sebanyak 6 aksis. Dengan kombinasi *accelerometer* dan *gyroscope* dalam satu sirkuit terpadu menyebabkan pendeteksian gerakan menjadi lebih akurat karena faktor kesalahan penyesuaian persilangan sumbu antara *accelerometer* dan *gyroscope* dapat dihilangkan.



**Gambar 2.3** Modul MPU6050<sup>[3]</sup>

#### 2.4 Komunikasi I2C (*Inter Integrated Circuit*)

I2C singkatan dari Inter-Integrated Circuit merupakan cara komunikasi data secara serial diantara perangkat I2C dengan dua jalur. Pada protokol I2C, data dikirim secara serial melalui jalur SDA, sedangkan untuk clock dikirim melalui jalur SCL. I2C merupakan komunikasi sinkron sehingga pada mikrokontroler dibutuhkan dua jalur komunikasi, satu jalur digunakan sebagai *Serial Data* (SDA) dan satunya lagi sebagai jalur *Serial Clock* (SCL).<sup>[8]</sup>

#### 2.5 Komunikasi Serial UART

UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*) adalah bagian perangkat keras yang menerjemahkan antara bit-bit serial. UART biasanya berupa sirkuit terintegrasi yang digunakan untuk komunikasi serial pada komputer atau port serial perangkat periperal. UART merupakan fitur dari mikrokontroler. UART adalah protokol komunikasi yang umum digunakan dalam pengiriman data serial antara device dengan computer.<sup>[11]</sup>

#### 2.6 Komunikasi USB To TTL

Konverter usb to ttl merupakan modul yang digunakan untuk interface komunikasi antara mikrokontroler dengan komputer. Sebagai contoh IC yang dapat menjadi konverter serial TTL (*Transistor-transistor logic*) dengan USB adalah FT232. Modul FT232 berfungsi untuk merubah data USB yang berasal dari port USB menjadi data serial dengan level tegangan TTL.<sup>[12]</sup>

#### 2.7 Platform Arduino

Arduino adalah platform pembuatam prototype elektronik yang bersifat *open-source hardware* yang berdasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel dan mudah digunakan. Arduino pada awalnya dikembangkan di ivrea dan italia. Nama Arduino adalah sebuah nama maskulin yang berarti teman yang kuat. Platform arduino terdiri dari arduino board, *shield*, bahasa pemrograman arduino, dan arduino *development environment*.<sup>[13]</sup>

#### 2.8 Module LoRa (*Long Range*)

Lo-Ra merupakan suatu proses perubahan suatu gelombang periodik tertentu sehingga menjadikan suatu sinyal yang mampu membawa suatu informasi. <sup>[1]</sup> Suatu format modulasi yang unik dan mengagumkan yang dibuat oleh Semtech. Modulasi yang dihasilkan menggunakan modulasi FM. Inti pada pemrosesan menghasilkan nilai frekuensi yang stabil. Nilai frekuensi pada LoRa bermacam-macam sesuai daerahnya, jika di Asia frekuensi yang digunakan yaitu 433 MHZ, di Eropa nilai frekuensi yang digunakan yaitu 868 MHZ, sedangkan di Amerika Utara frekuensi yang digunakan yaitu 915 MHZ.<sup>[2]</sup>

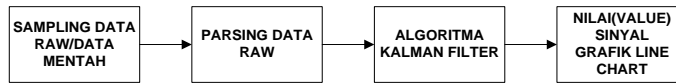
### 3. Pembahasan

#### 3.1 Perancangan Sistem

Pada tugas akhir ini dirancang filter jenis kalman dengan memanfaatkan sensor IMU sebagai sumber data, proses filter dilakukan di platform arduino dan di matlab menampilkan bentuk sinyal dengan tujuan hasil filter terlihat kontras dengan sebelum difilter berikut menampilkan bentuk sinyal input dan output.

#### 3.2 Diagram Alir Sistem

Pada penelitian tugas akhir ini, sistem perangkat lunak yang dirancang terdiri dari empat tahap yaitu tahap sampling data raw, dari data raw dilanjutkan proses parsing data untuk memisahkan nilai setiap informasi sudut, kemudian data yang sudah di parsing di proses dengan filter jenis Kalman, terakhir output dari Kalman Filter ditampilkan dalam bentuk line chart. Berikut ini merupakan gambaran umum dari sistem yang akan dirancang dan diimplementasikan pada penelitian ini :



Gambar 3.1 Blok Diagram Umum Sistem

### 3.3 Pemrosesan Awal (Pengambilan Data Raw)

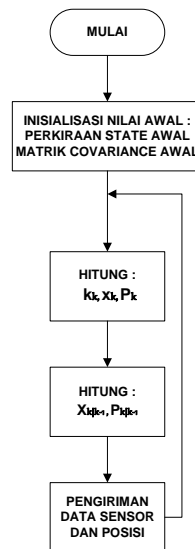
Pengambilan data merupakan pemrosesan awal yang bertujuan untuk mengambil data raw untuk mengetahui sinyal input dari perangkat IMU agar lebih mudah untuk diolah pada tahap selanjutnya. Tujuan utama dari pengambilan data ini adalah sebagai sumber informasi sudut yang berupa data mentah.

#### 3.3.1 Parsing Data

Parsing data merupakan pemisahan atau mengurai suatu data. masukan berupa sensor IMU (MPU6050) yang menghasilkan data raw yang akan di parsing berdasarkan informasi sudut. Informasi sudut tersebut berupa *gyroscope* dan *accelerometer* pada sensor IMU.

#### 3.3.2 Kalman Filter

Pada tahap ini dilakukan penfilteran data raw yang sudah di parsing sehingga mendapatkan hasil yang sesuai referensi sehingga dapat digunakan di teknologi balancing sesuai kebutuhan. Pada penfilteran data dapat dilakukan beberapa proses sebagai terlihat pada gambar 3.5



Gambar 3.7 Diagram Alir Program Filter Kalman

Untuk memudahkan pengguna atau pengamatan menganalisa data maka hasil akhir dari proses Kalman Filter ditampilkan dalam bentuk grafik berupa line chart nilai.

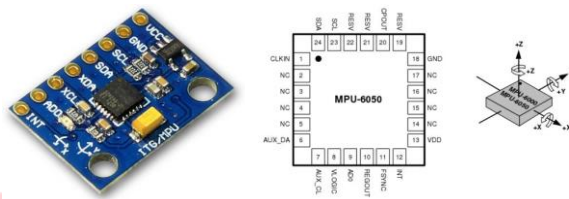
### 3.4 Diagram Blok



Gambar 3.9 Diagram Blok System

### 3.5 Desain Perangkat Keras

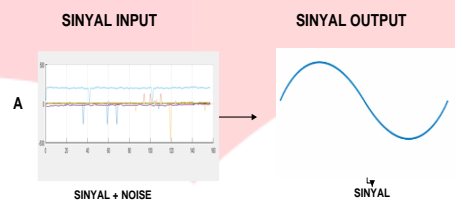
Pada tugas akhir ini menggunakan perangkat keras yang sudah ada dipasaran dimana bentuk data outputnya berupa serial USB yang datanya yang akan dibaca di tool atau software matlab dan platform arduino untuk dilakukan analisis dan filterisasi kalman filter.



Gambar 3.11 Sensor IMU MPU6050<sup>[18][19]</sup>

### 3.6 Desain Perangkat Lunak

Pada tugas akhir ini dirancang suatu filter yang berjenis kalman filter dimana dapat dilihat dari gambar A merupakan sinyal input sebelum diproses dengan kalman filter dan gambar B merupakan output yang diharapkan setelah menggunakan kalman filter.



Gambar 3.12 Sinyal Input Dan Output<sup>[20]</sup>

## 4. Analisis

### 4.1 Tahap Pengujian Sistem Pertama

Sistem identifikasi pertama adalah sistem identifikasi dengan mengambil data raw pada sensor IMU (MPU6050) secara *real time* yang digerakan sesuai sumbunya berupa x, y, dan z. dan disalin ke dalam Personal Computer (PC). Tahap-tahap pengujian sistem adalah sebagai berikut :

1. Tahap Pertama  
Total data *raw* berjumlah 20 sampel dari simulasi, yang didapat dari data x, y, dan z. Dan bentuk sinyal input dari sensor IMU (MPU6050).
2. Tahap Kedua  
Pada proses *parsing* ,dilakukan proses pembagian data berdasarkan sumbu x, y, dan z. Yang kemudian dibagi lagi menjadi gX, gY, gZ, aX, aY, aZ.
3. Tahap Ketiga  
Selanjutnya dilakukan proses penfilteran dengan menggunakan metode Filter Kalman.
4. Tahap Keempat  
Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem untuk memperoleh tingkat akurasi dan nilai yang paling baik tanpa melakukan *tunning* terlebih dahulu pada teknologi *balancing* yang digunakan dalam pengujian ini. Pada penelitian ini dilakukan pengujian algoritma kalman filter yang diterapkan pada sensor MPU6050 menggunakan teknologi pesawat tanpa awak (drone) dan kapal.

### 4.2 Hasil Kalman Filter

Hasil Kalman Filter dilakukan dengan menghilangkan data pada posisi yaw sumbu z dan hanya memasukan data pada posisi *pitch accelerometer* dengan sumbu aX dan aY dan posisi *raw gyroscope* dengan sumbu gX dan gY pemograman sistem. Parameter klasifikasi untuk mendapatkan nilai dan bentuk sinyal yang tepat. Setelah menambahkan Kalman Filter didapatkan hasil yang akan dibandingkan dengan sebelum ditambah Kalman Filter. Masing-masing memiliki hasil yang direpresentasikan dalam bentuk tabel dan kesimpulan dalam bentuk grafik dan dalam bentuk nilai. Skenario pengujian pada sistem ini adalah sebagai berikut :

#### 4.4.1 Pengujian Menggunakan Drone

Pengujian skenario pertama adalah data raw hasil dari input sensor IMU (MPU6050) pengujian ini untuk mengetahui pengaruh noise terhadap nilai dan waktu. Di mana parameter sensor IMU terdiri dari *accelerometer* dan *gyroscope*. Pengujian pada tahap ini menggunakan data kalman dari sensor IMU yang secara *realtime* dan random. Dengan pengujian ini diperoleh nilai akurasi kalman, nilai referensi pada drone dan data raw (noise) dari sensor IMU. Pengujian sebagai berikut, Tabel 4.1 merupakan data pengujian menggunakan drone

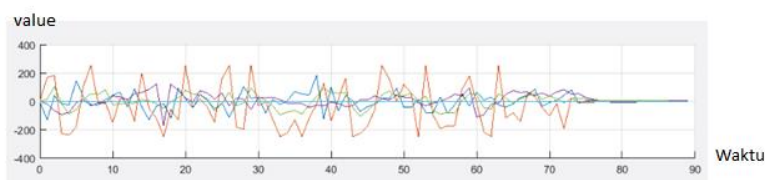
**Tabel 4.4** Hasil Pengujian Menggunakan Drone Sinyal Kalman Filter

Date	Time	aXk ( $m/s^2$ )	aYk ( $m/s^2$ )	aZk ( $m/s^2$ )	gXk (°)	gYk (°)	gZk (°)
08/07/2018	3:22:32 PM	-24.78	12.15	0	-4.39	10.3	0
08/07/2018	3:22:32 PM	13.43	-27.9	0	8.85	14.36	0
08/07/2018	3:22:33 PM	21.94	-187.79	0	18.07	-9.76	0
08/07/2018	3:22:33 PM	-75.91	-172.75	0	-27.59	-5.59	0
08/07/2018	3:22:34 PM	16.34	-63.53	0	-22.54	15.33	0
08/07/2018	3:22:34 PM	28.09	-250.14	0	40.84	-43.91	0
08/07/2018	3:22:35 PM	-54.18	-149.93	0	45.78	-91.42	0
08/07/2018	3:22:36 PM	-21.54	88.26	0	47.22	16.15	0
08/07/2018	3:22:36 PM	-64.35	-250.14	0	59.79	-25.15	0
08/07/2018	3:22:37 PM	-19.01	217.4	0	-6.17	98.92	0
08/07/2018	3:22:37 PM	-52.49	-191.66	0	36.27	12.12	0
08/07/2018	3:22:38 PM	-16.17	173.44	0	-17.48	12.75	0
08/07/2018	3:22:38 PM	-36.74	-101.02	0	-66.48	-7.41	0
08/07/2018	3:22:39 PM	14.76	97.52	0	-67.35	12.08	0
08/07/2018	3:22:39 PM	-63.32	-86.34	0	-29.62	-50.04	0
08/07/2018	3:22:40 PM	-33.31	-250.14	0	22.69	-28.91	0
08/07/2018	3:22:40 PM	-42.08	143.21	0	42.87	4.15	0
08/07/2018	3:22:41 PM	-20.73	10.76	0	-8.58	6.16	0
08/07/2018	3:22:42 PM	32.69	16.89	0	52.06	-6.73	0
08/07/2018	3:22:42 PM	39.15	-24.88	0	44.37	-40.55	0

**Tabel 4.5** Hasil Pengujian Menggunakan Drone Sinyal Referensi

Date	Time	aXr ( $m/s^2$ )	aYr ( $m/s^2$ )	aZr ( $m/s^2$ )	gXr (°)	gYr (°)	gZr (°)
08/07/2018	3:22:32 PM	-25.47	11.17	0	-3.81	10.09	0
08/07/2018	3:22:32 PM	12.97	-28.11	0	9.49	15.3	0
08/07/2018	3:22:33 PM	22.2	-188.57	0	18.4	-8.88	0
08/07/2018	3:22:33 PM	-76.61	-171.98	0	-27.76	-5.68	0
08/07/2018	3:22:34 PM	16.48	-62.87	0	-22.03	15.14	0
08/07/2018	3:22:34 PM	29.07	-249.92	0	40.59	-43.23	0
08/07/2018	3:22:35 PM	-53.83	-149.54	0	46.85	-90.43	0
08/07/2018	3:22:36 PM	-20.8	87.65	0	47.21	16.08	0
08/07/2018	3:22:36 PM	-65.4	-250.45	0	59.87	-24.35	0
08/07/2018	3:22:37 PM	-19.25	217.85	0	-5.38	99.34	0
08/07/2018	3:22:37 PM	-51.87	-191.26	0	36.75	10.87	0
08/07/2018	3:22:38 PM	-15.34	173.4	0	-17.67	11.61	0
08/07/2018	3:22:38 PM	-36.33	-101.15	0	-66.18	-7.07	0
08/07/2018	3:22:39 PM	13.94	98.42	0	-66.57	12.92	0
08/07/2018	3:22:39 PM	-63.31	-87.31	0	-29.84	-48.97	0
08/07/2018	3:22:40 PM	-34.14	-251.41	0	21.85	-27.85	0
08/07/2018	3:22:40 PM	-41.26	142.97	0	42.69	4.79	0
08/07/2018	3:22:41 PM	-21.15	9.97	0	-7.48	5.23	0
08/07/2018	3:22:42 PM	32.9	17.07	0	50.76	-8.03	0
08/07/2018	3:22:42 PM	39.71	-24.43	0	43.84	-40.85	0

Berdasarkan table di atas hasil secara keseluruhan pengujian menggunakan drone pada sinyal referensi dan sinyal Kalman Filter berdasarkan parameter *accelerometer* dan *gyroscope*. Didapatkan nilai error dari sinyal Kalman Filter terbesar 5.555%, error terkecil 0.0157% dan rata-rata error 2.058% terhadap sumbu x parameter *accelerometer*, kemudian error terbesar terhadap sumbu y 8.065%, error terkecil 1.065% dan error rata-rata 1.269%. Pada parameter *gyroscope* terhadap sumbu x error terbesar 12.820%, error terkecil 0.021%, dan rata-rata error 3.382%, Kemudian terhadap sumbu y error terbesar 19.316%, error terkecil 0.424%, dan rata-rata error 5.714%.



**Gambar 4.6** Sinyal Kalman Filter Dari Pengujian Drone

Gambar 4.1 memperlihatkan hasil pengujian menggunakan teknologi drone bahwa nilai accelerometer merupakan nilai perubahan percepatan terhadap posisi drone saat itu, sedangkan nilai gyroscope membaca posisi sudut dari drone pada saat penerbangan. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa nilai sinyal kalman filter pada sensor IMU mendekati nilai sinyal referensi pada drone. Dapat disimpulkan sensor IMU MPU 6050 dapat digunakan pada drone dengan baik dan stabil.

**4.4.2 Pengujian Menggunakan Kapal**

Pengujian skenario kedua merupakan hasil pengujian parameter *accelerometer* dan *gyroscope* yang masing-masing sumbu nya meliputi gX, gY dan aX,aY. Di mana parameter *pitch* terdiri dari nilai aX, gX, dan *Roll* terdiri dari nilai aY, gY. Pengujian pada tahap ini menggunakan data hasil setelah Kalman Filter.

**Tabel 4.7** Hasil Pengujian Menggunakan Kapal Sinyal Kalman Filter

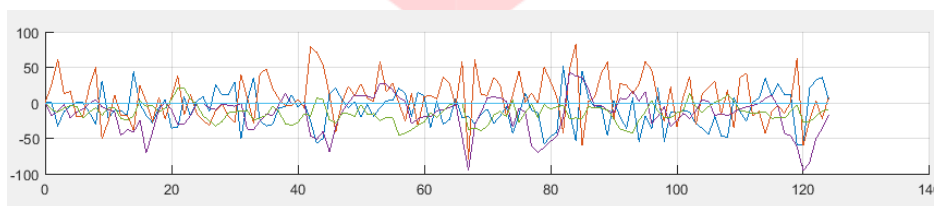
Date	Time	aXk ( $m/s^2$ )	aYk ( $m/s^2$ )	aZk ( $m/s^2$ )	gXk (°)	gYk (°)	gZk (°)
19/07/2018	5:26:48 PM	-4.73	17.74	0	-2.53	-13.67	0
19/07/2018	5:26:49 PM	-27.75	26.25	0	-8.61	-7.74	0
19/07/2018	5:26:49 PM	1.18	-14.53	0	-3.42	-15.85	0
19/07/2018	5:26:50 PM	24.37	-31.08	0	1.11	-12.13	0
19/07/2018	5:26:50 PM	-2.78	-16.49	0	3.84	-23.17	0
19/07/2018	5:26:51 PM	-3.13	-1.42	0	0.26	-16.54	0
19/07/2018	5:26:51 PM	-0.52	3.06	0	-0.61	-9.81	0
19/07/2018	5:26:52 PM	-2.34	0.79	0	-0.18	-7.1	0
19/07/2018	5:26:52 PM	-3.88	-1.53	0	-0.05	-6.08	0
19/07/2018	5:26:53 PM	-3.21	-1.18	0	0.42	-5.63	0
19/07/2018	5:26:53 PM	-1.31	0.15	0	0.75	-5.6	0
19/07/2018	5:26:54 PM	-0.46	1.02	0	0.63	-6.16	0
19/07/2018	5:26:54 PM	-3.29	0.56	0	0.37	-6.92	0
19/07/2018	5:26:55 PM	-4.21	0.93	0	-0.32	-7.91	0
19/07/2018	5:26:56 PM	-5.32	0.93	0	0.15	-7.92	0
19/07/2018	5:26:56 PM	10.31	-6.57	0	1.87	-6.65	0
19/07/2018	5:26:57 PM	1.81	3.57	0	0.99	-13.53	0
19/07/2018	5:26:57 PM	-2.15	6.27	0	-0.64	-8.34	0
19/07/2018	5:26:58 PM	17.11	-10.63	0	2.85	-1.03	0
19/07/2018	5:26:58 PM	3.86	7.25	0	0.38	2.3	0

**Tabel 4.8** Hasil Pengujian Menggunakan Kapal Sinyal Referensi

Date	Time	aXr ( $m/s^2$ )	aYr ( $m/s^2$ )	aZr ( $m/s^2$ )	gXr (°)	gYr (°)	gZr (°)
19/07/2018	5:26:48 PM	-4.79	17.55	0	-1.98	-14.66	0
19/07/2018	5:26:49 PM	-27.96	27.11	0	-7.82	-6.89	0
19/07/2018	5:26:49 PM	1.23	-13.97	0	-3.99	-15.08	0
19/07/2018	5:26:50 PM	24.21	-31.46	0	1.46	-12.82	0
19/07/2018	5:26:50 PM	-3.55	-16.47	0	4.22	-22.26	0
19/07/2018	5:26:51 PM	-2.91	-2.28	0	0.32	-17.62	0
19/07/2018	5:26:51 PM	-1.12	3.58	0	-0.02	-8.86	0
19/07/2018	5:26:52 PM	-3.46	-0.38	0	-1.21	-6.44	0
19/07/2018	5:26:52 PM	-4.39	-1.64	0	-0.36	-6.49	0
19/07/2018	5:26:53 PM	-2.66	-0.39	0	-0.53	-6.88	0
19/07/2018	5:26:53 PM	-1.88	-0.15	0	0.39	-6.49	0
19/07/2018	5:26:54 PM	-0.68	1.96	0	0.87	-6.96	0

19/07/2018	5:26:54 PM	-3.97	1	0	-0.25	-7.5	0
19/07/2018	5:26:55 PM	-4.72	1.48	0	-0.69	-8.1	0
19/07/2018	5:26:56 PM	-4.51	0.09	0	-0.73	-6.93	0
19/07/2018	5:26:56 PM	9.12	-6.21	0	2.67	-6.64	0
19/07/2018	5:26:57 PM	1.89	2.79	0	2.01	-12.76	0
19/07/2018	5:26:57 PM	-2.21	6.33	0	-1.29	-9.25	0
19/07/2018	5:26:58 PM	16.36	-10.83	0	1.93	-1.94	0
19/07/2018	5:26:58 PM	4.14	8.18	0	0.57	3.03	0

Berdasarkan table di atas hasil secara keseluruhan pengujian menggunakan kapal pada sinyal referensi dan sinyal Kalman Filter berdasarkan parameter *accelerometer* dan *gyroscope*. Didapatkan nilai error dari sinyal Kalman Filter terbesar 115.384%, error terkecil 0.656% dan rata-rata error 20.403% terhadap sumbu x parameter *accelerometer*, kemudian error terbesar terhadap sumbu y 148.101%, error terkecil 0.121% dan error rata-rata 43.626%. Pada parameter *gyroscope* terhadap sumbu x error terbesar 586.666%, error terkecil 48%, dan rata-rata error 145.641%, Kemudian terhadap sumbu y error terbesar 88.349%, error terkecil 0.150%, dan rata-rata error 13.807%.



**Gambar 4.10** Sinyal Kalman Filter Dari Pengujian Kapal

Gambar 4.1 memperlihatkan hasil pengujian menggunakan teknologi kapal bahwa nilai *accelerometer* merupakan nilai perubahan percepatan terhadap posisi drone saat itu, sedangkan nilai *gyroscope* membaca posisi sudut dari drone pada saat penerbangan. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa nilai sinyal kalman filter pada sensor IMU mendekati nilai sinyal referensi pada kapal. Dapat disimpulkan sensor IMU MPU 6050 dapat digunakan pada kapal dengan baik dan stabil.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian melalui salah satu teknologi balancing yaitu drone dan kapal, dalam pengujian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Algoritma Kalman Filter dapat diimplementasikan dan mampu menfilter noise yang ada pada data raw sensor yang digunakan pada penelitian ini yaitu sensor IMU MPU6050.
2. Pengujian pertama terhadap Drone menghasilkan akurasi yang baik mendekati dengan sinyal referensi (*Stabilizer*) dari drone tersebut. Akurasi tertinggi pada pengujian pertama dengan drone parameter *accelerometer* terhadap sumbu x terdapat *error* rata-rata 2.058%, terhadap sumbu y *error* rata-rata 1.269% Kemudian *gyroscope* terhadap sumbu x *error* rata-rata 3.382 dan *error* rata terhadap sumbu y 5.714% Tingkat kemiripan antara sinyal referensi pada drone maka pengujian pada drone sudah baik dan bisa digunakan pada drone. Pada Kapal error rata-rata *accelerometer* terhadap sumbu x 20.403%, sumbu y 43.626% dan error rata-rata *gyroscope* terhadap sumbu x 145.641%, terhadap sumbu y 13.807%

Sinyal input dan output sudah baik dalam penyajiannya, sesuai dengan input yang berasal dari sensor IMU, dan begitu juga sebaliknya sinyal output dari Kalman Filter sudah benar dalam meyajiannya.

### Daftar Pustaka :

- [1] Barlian Hendryanu Prasetyo, Wijaya Kurniawan, "Uji Informasi Ensemble Kalman Filter Untuk Mengurangi Noise Pengukuran Sensor Pada Robot," Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer, Elsevier., 22 Juli 2015.
- [2] P. R. Setyawan Bakti Wibowo, "Purwarupa Kontrol Kestabilan Posisi Dan Sikap Pada Pesawat Tanpa Awak Menggunakan IMU Dan Algoritma Fusion Sensor Kalman Filter," Jurnal IJEIS, Vol.4, No.1, pp. 25-34, 2014, ISSN: 2088-3714.
- [3] Faisal Pakpahan, "Sistem Kontrol Pengereman Pada Electric Unicycle Menggunakan Metode Logika Fuzzy dan Filter Noise Sensor Menggunakan Metode Kalman Filter," Universitas Telkom,



- Bandung, 2016.
- [4] Yuga aditya Pramana, "Implementasi Sensor Accelerometer, Gyroscope Dan Magnetometer Berbasis Mikrokontroler Untuk Menampilkan Posisi Benda Menggunakan Inertial Navigation System (Ins)", Program Studi Teknik Elektro, Springer, Universitas Komputer Indonesia, 2012.
  - [5] Reni Juanetta,"Kalman Filter", February, 2013.
  - [6] Tomy Kurniawan, Lukman Hanafi, dan Erna Apriliana, "Penerapan Metode Filter Kalman Dalam Perbaikan Hasil Prediksi Cuaca Dengan Metode ARIMA. JIADSJurnal Sains Dan Seni Pomits," vol. 3, no. 2, 2014, ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print). Okta Palega, Siswo Wardoyo, Romi Wiryadinata, "Estimasi Kecepatan Kendaraan Menggunakan Kalman Filter", SETRUM-Volume, NO.2, Desember 2013.
  - [7] Robotic Magazine, "Robot Information Source," <http://www.roboticmagazine.com/robot-parts/sensors/what-is-anaccelerometer>.
  - [8] The I2C-BUS Specification, Version 2.1, January 2000, Philips Semiconductor. "Komunikasi I2C antar IC dengan IIC",
  - [9] Taufiq Yudi Sulistiyo,Nurussa'adah, Eka Maulana," Komparasi Sistem Komunikasi Serial *Multipoint* Pada Robot *Management* Sampah Menggunakan I2C Dan SPI", Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Jln. M.T Haryono No.167 Malang 65145 Indonesia..
  - [10] Frans Surya, "I2C Protocol," 2007
  - [11] Suyadi, "Komunikasi Serial Dan Port Serial," Jurnal L200100015, Teknik Informatika UMS, 2 April 2012. Teknik Komunikasi Serial UART.
  - [12] I. Afriliana, Pengolahan Citra Digital, Poltek Harapan Bangsa, 2015.
  - [13] Feri Djuandi, "Pengenalan Arduino, Arduino Board Simulation," Juli, 2011.
  - [14] Arduino Boards-Pin Mapping, <http://icicuit.net/arduino-boards-pin-mapping/141> Bandung, 24 Juli 2018.
  - [15] Mery Diana, Refdinal Nazir, Arief Ruffyanto"Harvesting RF Ambient Energy Dari End Device LoRa (Long Range Access),," Teknik Elektro Universitas Andalas, Padang 25163, 27 Oktober 2017
  - [16] M.Luqman, M.Septama P, Virginia Clara, Trigati WLW, Rusdi Hamidan," Analisis Perbandingan Mekanisme Enkripsi Data Pada Teknologi Low Power Wide Area (LPWA) Network: Lora Dan Sigfox", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia, Vol. 13, No.1 Februari 2018Telkom University, 2012
  - [17] Lora Ra-01 Long Range Wireless transceiver SX1278 (433MHZ), <http://www.smart-prototyping.com/LoRa-SX1278-10KM-433M-long-range-wireless-module-Ra-01>.
  - [18] 6 Degree Of Freedom (6DOF) MPU6050 Low Cost Version.
  - [19] Datasheetcafe,"MPU6050 Datasheet-MotionTracking Devices-InvenSense", Bandung,24 Juli 2018.
  - [20] Sinyal Input dan Output, Bandung,Desember,2017.