

## Pendeteksi Posisi Menggunakan Sensor *Accelerometer* MMA7260Q Berbasis Mikrokontroler Atmega 32

Muhammad Riyadi<sup>1</sup>, Wahyudi<sup>2</sup>, Iwan Setiawan<sup>2</sup>

1. Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
2. Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

### Abstract

Currently, determining the exact position and orientation in a technical system has an important role, especially in terms of control on a navigation system. One of the instruments used in navigation systems is the Inertial Measurement Unit (IMU). The IMU consists of a combination of the acceleration sensor (*accelerometer*) and the angular sensor (*gyroscope*) to track the whereabouts and movement of an object. *Accelerometer* sensor is one that has undergone a lot of progress and applied to measure the slope, vibration, acceleration, and position. *Accelerometer* can also be applied to the measurement of earthquake activity and electronic equipment, such as 3-dimensional game, computer mouse, and telephone. For further applications, sensors are widely used for the purposes of navigate in relation to the position of objects. This final project perform design and manufacture of instrumentation *accelerometer* as one component of IMU to detect the position / distance with 3 degrees of freedom. Data obtained from the position of the double integral of the *accelerometer* output in the form of acceleration. Instrumentation system consists of an *accelerometer* sensor, signal conditioning, microcontroller ATmega 32 as the main processing unit, and computers that will process data input and display output data using Visual C#, while the *g-select* function is used to determine which mode to use the *accelerometer* to minimize error in the measurement.

**Keyword :** *Accelerometer, Microcontroller ATmega 32, Double Integral, Position*

### I. PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

IMU (*Inertial Measurement Unit*) merupakan suatu unit dalam modul elektronik yang mengumpulkan data kecepatan angular dan akselerasi linear yang kemudian dikirim ke CPU (*Central Processing Unit*) untuk mendapatkan data keberadaan dan pergerakan suatu benda. IMU terdiri dari kombinasi *accelerometer* (sensor percepatan) dan *gyroscope* (sensor kecepatan angular). *Accelerometer* digunakan untuk mengukur percepatan suatu benda dan *gyroscope* digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi dari suatu benda.

Saat ini pengembangan sensor IMU untuk mengolah data dengan menggunakan mikrokontroler telah banyak dilakukan. Untuk memperoleh kualitas data masukan yang baik perlu digunakan filter digital untuk mengurangi noise dari keluaran sensor. Akan tetapi, karena keterbatasan mikrokontroler 8 bit yang digunakan, maka perlu diperhatikan algoritma filtering yang tepat dan tidak memerlukan waktu pemrosesan yang terlalu lama agar dapat menghasilkan data yang optimal. Filter eksponensial dan filter Kalman merupakan pilihan yang sering digunakan untuk proses digital filtering terutama pada kondisi dimana noise cukup dominan.

Filter Kalman telah banyak diaplikasikan untuk prediksi hasil perhitungan koordinat orientasi gerak dinamik dari sensor IMU, demikian pula dengan filter eksponensial, sebab selain tidak memerlukan proses yang rumit juga lebih optimal bila dibandingkan dengan filter digital yang lain, karena dalam filter eksponensial hanya dengan mengubah parameter eksponensial dapat digunakan untuk filtering dalam berbagai respon.

#### 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat sistem instrumentasi *accelerometer* sebagai salah satu komponen IMU untuk mendeteksi posisi/jarak dengan menggunakan mikrokontroler ATmega 32 yang kemudian akan divisualisasikan secara 3D dengan menggunakan *visual C #*.

#### 1.3 Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Sensor *accelerometer* yang digunakan memiliki 3 derajat kebebasan.
2. Pembuatan sistem instrumentasi untuk menerapkan sensor *accelerometer* sebagai pendeteksi jarak/posisi.
3. Dalam pengujian sistem pendeteksi jarak ini hanya digunakan untuk arah sumbu negatif.
4. Pada pengujian dilakukan 3 sumbu secara bersamaan.
5. Range percepatan yang digunakan sebesar 1,5 g sampai 6 g.
6. Sistem visualisasi 3D yang digunakan adalah komputer dengan bantuan bahasa pemrograman *Visual C #*.
7. Mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega 32 dengan pemrograman *Code Vision AVR* menggunakan bahasa C.
8. ADC yang digunakan adalah ADC internal 8 bit mikrokontroler ATmega 32.

### II. DASAR TEORI

#### 2.1 Accelerometer MMA7260Q

*Accelerometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (vibrasi), dan mengukur percepatan akibat gravitasi (inklinasi). *Accelerometer* dapat digunakan untuk mengukur

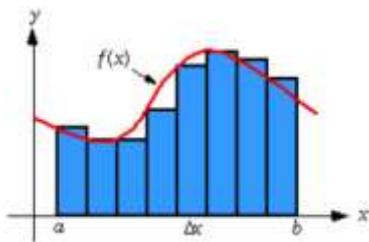
getaran pada mobil, mesin, bangunan, dan instalasi pengamanan. *Accelerometer* juga dapat diaplikasikan pada pengukuran aktivitas gempa bumi dan peralatan-peralatan elektronik, seperti permainan 3 dimensi, *mouse* komputer, dan telepon. Untuk aplikasi yang lebih lanjut, sensor ini banyak digunakan untuk keperluan navigasi.

Percepatan merupakan suatu keadaan berubahnya kecepatan terhadap waktu. Bertambahnya suatu kecepatan dalam suatu rentang waktu disebut percepatan (*acceleration*). Namun jika kecepatan semakin berkurang daripada kecepatan sebelumnya, disebut perlambatan (*deceleration*). Percepatan juga bergantung pada arah/orientasi karena merupakan penurunan kecepatan yang merupakan besaran vektor. Berubahnya arah pergerakan suatu benda akan menimbulkan percepatan pula. Untuk memperoleh data jarak dari sensor *accelerometer*, diperlukan proses integral ganda terhadap keluaran sensor.

$$\vec{s} = \int (\int (\vec{a}) dt) dt \dots\dots\dots(1)$$

Proses penghitungan ini dipengaruhi oleh waktu cuplik data, sehingga jeda waktu cuplik data (*dt*) harus selalu konstan dan dibuat sekecil mungkin

Secara sederhana, integral merupakan luas daerah di bawah suatu sinyal selama rentang waktu tertentu. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Proses integral terhadap suatu sinyal.

$$\int_a^b f(x) dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n f(x_i) \Delta x \dots\dots\dots(2)$$

$$\Delta x = \frac{b - a}{n} \dots\dots\dots(3)$$

Persamaan pengintegralan pada persamaan (2) masih memiliki *error* yang cukup besar. Untuk lebih mengoptimalkan hasil pengintegralan maka dapat digunakan metode Runge-Kutta dengan pendekatan *trapezoidal* seperti pada persamaan (4).

$$x_k = x_{k-1} + \frac{h}{2} [f(x_k, t_k) + f(x_{k-1}, t_{k-1})] \dots\dots(4)$$

Dari persamaan (4) dapat diketahui bahwa hasil integral saat ini ( $x_k$ ) dipengaruhi oleh hasil integral sebelumnya ( $x_{k-1}$ ), masukan saat ini ( $f(x_k, t_k)$ ), dan masukan sebelumnya, serta waktu cuplik antar data masukan (*h*).

Percepatan yang diperoleh dari hasil pengukuran *accelerometer* pada kenyataannya bukanlah data percepatan benda murni, melainkan juga terdapat derau.

$$\dot{U} = a + r + d \dots\dots\dots(5)$$

Nilai *a* merupakan percepatan benda sesungguhnya, nilai *r* adalah *random noise*, dan *d* adalah *drift noise*.

Pada penelitian ini digunakan sensor *accelerometer* MMA7260Q dengan tiga sumbu pengukuran, yaitu terhadap sumbu x, sumbu y, dan sumbu z. Sensor *accelerometer* ini digunakan untuk mengukur percepatan benda dalam satuan gravitasi (g). Sensor ini dapat mengukur percepatan dari 1,5 g sampai 6 g. Sensor *accelerometer* MMA7260Q dengan rangkaian pendukung yang terintegrasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Break out accelerometer MMA7260Q.

Pada sensor *accelerometer* MMA7260Q ini memiliki fasilitas *g-select* yang memungkinkan sensor bekerja pada tingkat sensitivitas yang berbeda-beda. Penguatan internal pada sensor akan berubah sesuai dengan tingkat sensitivitas yang dipilih, yaitu 1,5 g, 2 g, 4 g, atau 6 g. Pemilihan tingkat sensitivitas ini dilakukan dengan memberikan input logika pada pin *g-select1* dan *g-select2*. Diskripsi pemilihan tingkat sensitivitas pada sensor *accelerometer* MMA7260Q dapat diamati pada Tabel 1.

Tabel 1 Diskripsi tingkat sensitivitas *accelerometer* MMA7260Q.

<i>g-select1</i>	<i>g-select2</i>	<i>g-Range</i>	<i>Sensitivity</i>
0	0	1,5 g	800 mV/g
0	1	2 g	600 mV/g
1	0	4 g	300 mV/g
1	1	6 g	200 mV/g

Sensor *accelerometer* MMA7260Q dapat digunakan untuk mengukur baik percepatan positif maupun percepatan negatif. Ketika sensor dalam keadaan diam, keluaran sensor pada sumbu x akan menghasilkan tegangan *offset* yang besarnya setengah dari tegangan masukan sensor ( $V_{dd}$ ). Tegangan *offset accelerometer* dipengaruhi oleh orientasi sensor dan percepatan statis tiap sumbu akibat gaya gravitasi bumi. Untuk percepatan positif maka sinyal keluaran akan meningkat di atas tegangan *offset*, sedangkan untuk percepatan negatif sinyal keluaran akan semakin menurun di bawah tegangan *offset*.

## 2.2 Filter Digital

Filter digital adalah semua filter elektronik yang bekerja dengan menerapkan operasi matematika digital atau algoritma pada suatu pemrosesan sinyal. Salah satu batasan utama pada filter digital adalah dalam hal keterbatasan kecepatan pemrosesan/waktu komputasi yang sangat tergantung dengan kemampuan mikrokontroler atau komputer yang digunakan.

### 2.2.1 Filter Eksponensial

Filter eksponensial merupakan filter linier rekursif sederhana. Filter eksponensial secara umum digunakan dalam analisis kawasan waktu. Persamaan filter eksponensial orde 2 dapat dilihat pada Persamaan (6).

$$y(n) = (1 - a)(x_n + a.x_{(n-1)}) + a.y_{(n-2)} \dots(6)$$

Secara umum parameter  $a$  dapat ditentukan dengan persamaan (7).

$$a = \frac{1}{(1 + 2\pi \cdot \frac{f_c}{f_s})} \dots\dots\dots(7)$$

Di sini  $f_c$  adalah frekuensi *cut off* dan  $f_s$  adalah frekuensi *sampling*.

**2.2.2 Filter Kalman**

Filter Kalman merupakan salah satu solusi optimal dalam memfilter data dari sinyal pada suatu proses yang linier. Filter Kalman digunakan pada proses yang dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan *state* linier seperti pada persamaan (8).

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k + w_k \dots\dots\dots(8)$$

Persamaan 8 dapat diobservasi dengan model pengukuran yang memetakan *state*  $x$  ke keluaran  $y$  seperti dituliskan pada persamaan (9).

$$y_k = H_k x_k + v_k \dots\dots\dots(9)$$

Noise proses ( $w$ ) dan noise pengukuran ( $v$ ) merupakan noise yang saling bebas. Nilai estimasi *state*  $\hat{x}_k$  pada filter Kalman ditentukan dari estimasi *posteriori*  $\hat{x}_k^-$  serta selisih antara pengukuran sebenarnya  $y_k$  dan estimasi pengukuran  $H\hat{x}_k^-$  seperti pada persamaan (10).

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (y_k - H\hat{x}_k^-)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (H_k x_k + v_k - H\hat{x}_k^-) \dots\dots(10)$$

Selisih nilai antara pengukuran sebenarnya  $y_k$  dan estimasi pengukuran disebut sebagai *residual* atau pengukuran *innovation*. Jika nilai *residual* adalah nol, maka hal itu menunjukkan bahwa hasil estimasi sama dengan hasil pengukuran. Nilai  $K_k$  adalah faktor *gain* pada filter Kalman.

Pada filter Kalman dipilih nilai  $K_k$  sehingga estimasi *posteriori* adalah optimal atau mempunyai *error* yang minimum. Nilai  $P_k$  minimum diperoleh jika nilai  $K_k$  dapat menyediakan estimasi yang mempunyai *covariance* minimum. Penyelesaian untuk mendapatkan  $P_k$  minimum ditunjukkan pada persamaan (11).

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \dots\dots\dots(11)$$

Nilai estimasi *priori* diberikan pada persamaan (12) yang diperoleh dengan menghilangkan *noise*  $w_k$ .

$$\hat{x}_{k+1}^- = A_k \hat{x}_k + B_k u_k \dots\dots\dots(12)$$

Nilai *covariance* dari *error* diberikan pada persamaan (13).

$$P_{k+1}^- = A_k P_k A_k^T + Q_k \dots\dots\dots(13).$$

**III. PERANCANGAN ALAT**

**3.1 Perancangan Perangkat Keras**

Secara umum perancangan perangkat keras dari sistem instrumentasi *accelerometer* meliputi perancangan sensor *accelerometer* MMA7260Q, pengondisi sinyal, unit masukan dan keluaran pada mikrokontroler ATmega 32. Secara umum perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3.



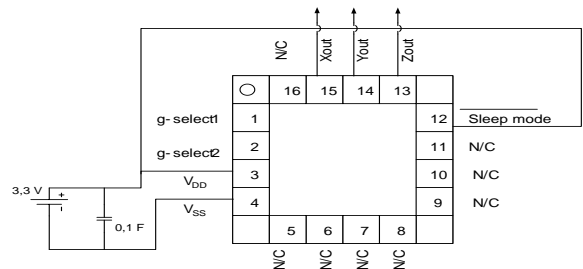
**Gambar 3** Diagram blok perancangan instrumentasi *accelerometer*.

Penjelasan dari diagram blok sistem pada Gambar 3 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Sensor *accelerometer* MMA7260Q digunakan untuk mengetahui besarnya percepatan suatu benda yang kemudian akan dikirim ke mikrokontroler.
2. Mikrokontroler ATmega 32 digunakan untuk menerima data dari sensor, mengubahnya menjadi data digital, memproses data secara digital, dan melakukan komunikasi serial antara mikrokontroler dengan komputer.
3. Komputer digunakan untuk menampilkan data posisi dan tampilan berupa gambar 3 dimensi dengan menggunakan *visual C#*.

Sensor *accelerometer* beroperasi pada tegangan 2,2 – 3,6 volt dengan tegangan tipikal 3,3 volt ( $V_{dd}$ ). Keluaran sensor *accelerometer* berupa tegangan analog yang merepresentasikan data percepatan dalam satuan gravitasi ( $g$ ).

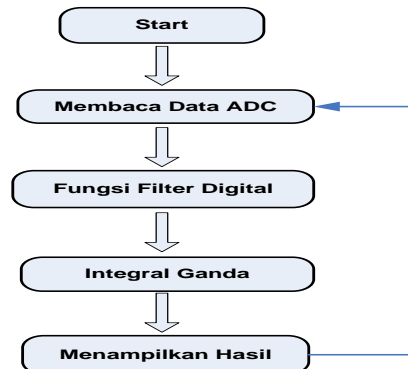
Sensor *accelerometer* MMA7260Q memiliki tingkat sensitivitas yang dapat dipilih yaitu 1,5 g/ 2 g/ 4 g/ 6 g. Tingkat sensitivitas dapat dipilih dengan melakukan pengesetan pada pin *g-select1* dan *g-select2*. Koneksi masukan dan keluaran pin-pin pada *accelerometer* MMA7260Q dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4** Konfigurasi pin-pin *accelerometer* MMA7260Q.

**3.2 Perancangan Perangkat Lunak**

Mikrokontroler Atmega32 digunakan untuk membaca sinyal analog dari sensor *accelerometer*, kemudian mengubahnya menjadi data digital 8 bit dan mengolahnya dengan algoritma yang telah ditentukan kemudian mengirimkan hasil akhir data ke komputer. Secara umum diagram alir pemrograman pada sistem pendeteksi jarak dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5** Diagram alir pemrograman utama sistem pendeteksi jarak.

**3.2.1 Perancangan Filter Digital**

**A. Filter Eksponensial**

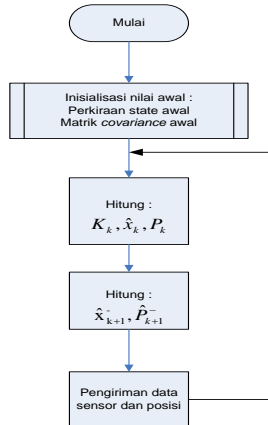
Filter eksponensial yang digunakan adalah filter eksponensial orde 2. Pengujian dilakukan dengan menentukan nilai parameter faktor pengali ( $a$ ), kemudian mengamati sinyal keluaran yang optimal. Parameter  $a$  dapat

dicari dengan persamaan (7). Setelah dilakukan penghitungan didapatkan nilai parameter  $a$  pada sumbu x dan y adalah 0,83 dan  $a$  pada sumbu z adalah 0,92.

**B. Filter Kalman**

Filter Kalman yang diaplikasikan pada mikrokontroler ATmega 32 tidak hanya menghilangkan *random noise* tetapi filter ini juga menghitung nilai posisi dengan mengintegrasikan sebanyak 2 kali sinyal masukan filter. Tampilan respon keluaran sensor *accelerometer* serta tampilan nilai besaran posisi dari ketiga sumbu sensor diterapkan pada komputer menggunakan bantuan perangkat lunak *Microsoft Visual Studio 2008*.

Berdasarkan hubungan antara proses, pengukuran, dan filter Kalman, maka dapat dibuat diagram alir program seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Diagram alir program filter Kalman

**3.2.2 Penentuan Faktor Kalibrasi**

Faktor kalibrasi merupakan suatu konstanta yang digunakan untuk mengkalibrasi antara hasil integral ganda dari percepatan dengan jarak sebenarnya. Pada penelitian ini, akan dicari faktor kalibrasi hasil integral dari filter digital yang digunakan. Pada akhirnya, pengujian bertujuan untuk menentukan filter digital yang paling sesuai sehingga menghasilkan data jarak yang paling mendekati jarak sebenarnya atau dengan kata lain tingkat kesalahannya kecil.

**A. Faktor kalibrasi sistem dengan filter eksponensial**

**Tabel 2** Faktor kalibrasi sumbu x negatif dengan filter eksponensial.

No	Rata – rata jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	Faktor kalibrasi
1	256,814	30	0,117128665
2	370,07	45	0,121812587
3	476,332	60	0,126111414
4	611,567	75	0,122688247
5	721,286	90	0,124817362
Faktor kalibrasi rata-rata			0,122511655

Dari Tabel 2 diperoleh faktor kalibrasi rata-rata pada sumbu x sebesar 0,122511655, dengan cara yang sama seperti penentuan faktor kalibrasi pada sumbu x, maka diperoleh faktor kalibrasi pada sumbu y sebesar 0,133761796 dan sumbu z sebesar 0,103425363.

**B. Faktor kalibrasi sistem dengan filter Kalman**

**Tabel 3** Faktor kalibrasi sumbu x negatif dengan filter kalman.

No	Rata – rata jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	Faktor kalibrasi
1	4,66	30	6,445148348
2	7,108	45	6,337087921
3	9,497	60	6,323577116
4	12,01	75	6,246575487
5	14,675	90	6,133681929
Faktor kalibrasi rata-rata			6,29721416

Dari Tabel 3 diperoleh faktor kalibrasi rata-rata pada sumbu x sebesar 6,29721416, dengan cara yang sama seperti penentuan faktor kalibrasi pada sumbu x, maka diperoleh faktor kalibrasi pada sumbu y sebesar 6,29721416 dan sumbu z sebesar 7,83801555..

**IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS**

**4.1 Pengujian Karakteristik Accelerometer MMA7260Q**

Pada bagian ini dilakukan pengujian tegangan *offset* sensor. Pengujian tegangan *offset* dilakukan dengan cara mengukur tegangan dengan menggunakan multimeter.

**Tabel 4** Hasil pengujian tegangan keluaran *offset* masing-masing sumbu.

No.	$V_{offset}$ (volt)		
	sumbu x	sumbu y	sumbu z
1.	1,61	1,72	2,45
2.	1,61	1,72	2,45
3.	1,61	1,72	2,45
4.	1,61	1,72	2,45
5.	1,61	1,72	2,45
Jumlah	8,05	8,6	12,25
Rata-rata	1,61	1,72	2,45

Dari Tabel 4 terlihat bahwa tegangan *offset* rata-rata sumbu x sebesar 1,61 volt, sumbu y sebesar 1,72 volt, dan sumbu z sebesar 2,45 volt sudah mendekati tegangan *offset* ideal yaitu sebesar 1.65 volt, khusus untuk sumbu z tegangan *offset* ideal ditambah dengan 0,8 volt karena dalam keadaan *default* telah mengalami percepatan sebesar 1 g.

**4.2 Pengujian Jarak**

Pengujian jarak dilakukan dengan menerapkan faktor kalibrasi yang didapat dari percobaan sebelumnya. Hasil pengujian yang didapat kemudian dibandingkan dengan jarak sebenarnya sehingga didapat besaran *error*.

**4.2.1 Pengujian Jarak dengan Filter Eksponensial**

**A. Pengujian Jarak masing-masing Sumbu Secara Terpisah**

**Tabel 5** Hasil pengujian jarak sumbu x dengan filter eksponensial

No	Rata - rata jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	Error jarak (cm)	Persentase Error (%)
1.	29,93	30	0,07	0,25
2.	45,73	45	0,73	1,62
3.	60,99	60	0,99	1,647
4.	77,20	75	2,20	2,933
5.	92,76	90	2,76	3,061
Error rata-rata				1,902



Dari Tabel 5 dapat diamati bahwa *error* rata-rata pada sumbu x dengan menggunakan filter eksponensial sebesar 1,90 % dengan tingkat kesalahan jarak 0,07 cm – 2,76 cm dengan cara yang sama seperti pada pengujian jarak sumbu x, maka diperoleh *error* rata-rata pada sumbu y sebesar 2,59 % dengan tingkat kesalahan jarak 0,72 cm – 2,25 cm dan sumbu z sebesar 4,29 % dengan tingkat kesalahan jarak 1,39 cm – 2,57 cm.

**B. Pengujian Jarak 3 Sumbu Secara Bersamaan**

Dengan cara yang sama seperti pada pengujian jarak pada masing - masing sumbu dilakukan pengujian jarak 3 sumbu secara bersamaan pada jarak 30 cm, 45 cm, dan 60 cm sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.

**Tabel 6** Hasil pengujian jarak 3 sumbu secara bersamaan dengan filter eksponensial

Jarak sebenarnya (Sumbu x,y,z)	Rata-rata Persentase <i>Error</i> (%)		
	Sumbu (x)	Sumbu (y)	Sumbu (z)
30	8,23	6,73	8,32
40	7,02	6,83	7,04
60	8,46	6,88	11,39

Dari Tabel 6 dapat dihitung *error* rata-rata pada ketiga jarak tersebut diatas pada sumbu x sebesar 7,90 %, sumbu y sebesar 6,81 % dan sumbu z sebesar 8,92 %.

**4.2.2 Pengujian Jarak dengan Filter Kalman**

**A. Pengujian Jarak masing- masing Sumbu Secara Terpisah**

**Tabel 7** Hasil pengujian jarak sumbu x dengan filter kalman

No	Rata - rata jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	<i>Error</i> jarak (cm)	Persentase <i>Error</i> (%)
1.	30,21	30	0,21	0,71
2.	46,28	45	1,28	2,853
3.	61,56	60	1,56	2,595
4.	76,81	75	1,81	2,411
5.	91,29	90	1,29	1,433
Error rata-rata				2

Dari Tabel 7 dapat diamati bahwa *error* rata-rata pada sumbu x dengan menggunakan filter kalman sebesar 2 % dengan tingkat kesalahan jarak 0,21 cm – 1,81 cm dengan cara yang sama seperti pada pengujian jarak sumbu x, maka diperoleh *error* rata-rata pada sumbu y sebesar 1,95 % dengan tingkat kesalahan jarak 0,58 cm – 1,65 cm dan sumbu z sebesar 3,96 % dengan tingkat kesalahan jarak 1,25 cm – 2,34 cm.

**B. Pengujian Jarak 3 Sumbu Secara Bersamaan**

Dengan cara yang sama seperti pada pengujian jarak pada masing - masing sumbu dilakukan pengujian jarak 3 sumbu secara bersamaan pada jarak 30 cm, 45 cm, dan 60 cm sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.

**Tabel 8** Hasil pengujian jarak 3 sumbu secara bersamaan dengan filter kalman

Jarak sebenarnya (Sumbu x,y,z)	Rata-rata Persentase <i>Error</i> (%)		
	Sumbu (x)	Sumbu (y)	Sumbu (z)
30	5,13	6,09	6,78
40	6,20	5,69	6,74
60	10,22	10,41	13,80

Dari Tabel 8 dapat dihitung *error* rata-rata pada ketiga jarak tersebut diatas pada sumbu x sebesar 7,18 %, sumbu y sebesar 7,39 % dan sumbu z sebesar 9,11 %.

**V. PENUTUP**

**5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Tegangan masukan tipikal sensor adalah 3,28 V.
2. Nilai tegangan *offset* pada *g-select* 0-0 untuk ketiga sumbu terjadi sedikit perbedaan dengan perhitungan berkisar antara 0,01 volt – 0,08 volt. Pada *g-select* 0-1 untuk sumbu x dan y terjadi perbedaan yang kecil yaitu 0,05 volt dan 0,02 volt, sedangkan untuk sumbu z terjadi perbedaan yang cukup besar yaitu 0,33 volt. Pada *g-select* 1-0 untuk sumbu x dan y terjadi perbedaan yang kecil yaitu 0,05 volt dan 0,1 volt, sedangkan untuk sumbu z terjadi perbedaan yang cukup besar yaitu 0,3 volt. Pada *g-select* 1-1 untuk ketiga sumbu terjadi sedikit perbedaan dengan perhitungan berkisar antara 0,01 volt – 0,06 volt.
3. Hasil terbaik untuk pengujian jarak secara terpisah pada sumbu x adalah dengan menggunakan filter eksponensial sedangkan pada sumbu y dan sumbu z adalah dengan menggunakan filter Kalman.
4. *Error* rata - rata pengujian jarak pada 3 sumbu secara bersamaan dengan menggunakan filter eksponensial adalah sumbu x sebesar 7,90 %, sumbu y sebesar 6,81 %, dan sumbu z sebesar 8,92 %.
5. *Error* rata - rata pengujian jarak pada 3 sumbu secara bersamaan dengan menggunakan filter Kalman adalah sumbu x sebesar 7,18 %, sumbu y sebesar 7,39 %, dan sumbu z sebesar 9,11 %.

**5.2 Saran**

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Sensor *accelerometer* MMA7260Q memiliki tingkat sensitivitas yang sangat tinggi, sehingga segala hal yang memungkinkan terjadinya *error* pada sinyal keluaran perlu diminimalisasi, seperti kestabilan tegangan masukan dan koneksi antar komponen.
2. Metode integral dapat dikembangkan dengan berbagai variasi algoritma pengintegralan.
3. Variasi metode filter digital yang lain dapat digunakan untuk mendapatkan sinyal data keluaran sensor yang lebih baik.
4. Aplikasi *accelerometer* sebagai pendeteksi posisi dapat dikembangkan dengan perangkat nirkabel (*wireless*) dan perancangan instrumentasi yang dapat dibawa ke mana-mana (*portable*).

**Daftar Pustaka**

- [1] Alma'i, Vidi Rahman, *Aplikasi Sensor Accelerometer pada Pendeteksi Posisi*, Penelitian Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.
- [2] Heryanto, M.Ary dan Wianu Adi P., *Pemrograman Bahasa C untuk mikrokontroler ATMEGA8535*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2008.
- [3] Seifert, K. dan Camacho, O., *Implementing Positioning Algorithms Using Accelerometers*, Freescale Semiconductor, 2007.
- [4] Simon, Dan, *Kalman Filtering*, Embedded System Programming, 2001.
- [5] Wahyudi, Adhi Susanto, Sasongko Pramono Hadi, Wahyu Widada, *Simulasi Filter Kalman untuk Estimasi Posisi dengan Menggunakan Sensor Accelerometer*, Jurnal Techno Science, UDINUS Semarang, 2009.
- [6] Widada, W., *Aplikasi Digital Exponential Filtering untuk Embedded Sensor Payload Roket*, Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi serta Aplikasi, 2005.
- [7] -----, *ATmega 32 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>, Juli 2009.
- [8] -----, *MMA7260Q Data Sheet*, <http://www.freescale.com>, Juni 2005.
- [9] -----, *KIA78R33API Data Sheet*, <http://www.datasheetcatalog.com>, Maret 2004.
- [10] -----, *LM3940 Data Sheet*, <http://www.national.com>, Januari 2003.
- [11] -----, *YLScsDrawing3d Library*, <http://www.codeproject.com>, Juni 2009.