

PENENTUAN FAKTOR KALIBRASI ACCELEROMETER MMA7260Q PADA KETIGA SUMBU

Wahyudi¹, Adhi Susanto², Sasongko P. Hadi², Wahyu Widada³

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Sleman, Yogyakarta

³Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Rumpin, Bogor

E-mail: wahyuditinom@yahoo.com

Abstract. The features of MMA7260Q are low cost, low current consumption, low voltage operation, high sensitivity, a 1-pole low pass filter, and g-Select which allows for the selection among 4 sensitivities. The accelerometer is an acceleration sensor that output signal in voltage/g, where g is an earth gravity. The acceleration is the rate of change of the velocity of an object and the velocity is the rate of change of the position of the same object. The position is the integration of velocity and the velocity is the integration of acceleration. If the data of the acceleration of an object is known, the data of the position can obtain by applied a double integration. This paper presents the calibration factor of three axis of accelerometers. The value of three calibration factor are not same. In general, the experiment using A1 algorithm and M2 method give the smaller of error than the other. The calibrations factor are 2.1158 for x axis, 1.6873 for y axis, and 2.1539 for z axis. The error of the distance estimation is about 3% till 4 %, so the research must be developed using the digital filter.

Keywords: MMA7260Q, calibration factor, three axis

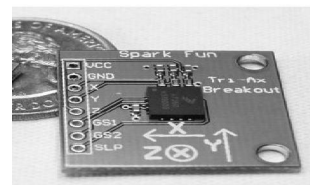
Accelerometer merupakan sensor percepatan, dengan keluaran berupa tegangan per gravitasi bumi (mV/g). Sensor *accelerometer* mengukur percepatan akibat gerakan benda yang melekat padanya. Pada saat diam percepatan suatu benda nol (tegangan *accelerometer* nol), ketika digerakkan percepatan positif (tegangan *accelerometer* relatif positif dibandingkan tegangan *offset*-nya) dan kemudian negatif (tegangan *accelerometer* relatif negatif dibandingkan tegangan *offset*-nya), sehingga pada saat berhenti percepatannya kembali nol. Pada gerak tersebut, kecepatan suatu benda bertambah dan kemudian berkurang dan akhirnya menjadi nol saat berhenti.

Kalibrasi yang dilakukan menggunakan *accelerometer* berbeda dengan kalibrasi yang dilakukan untuk sensor pada umumnya. Sebagian besar sensor yang ada di pasaran, mempunyai keluaran yang berbanding lurus dengan besaran fisik yang akan disensor, sedangkan pada *accelerometer* (digunakan untuk mengukur jarak), untuk mendapatkan data jarak perlu diintegrasikan dua kali. Faktor kali-

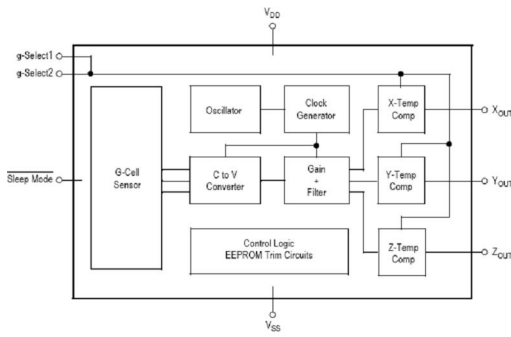
brasi diperoleh dengan mengetahui hasil integral sinyal *accelerometer* dan jarak yang ditempuh. Hasil kalibrasi dilakukan pada ketiga sumbu x, sumbu y, dan sumbu z, dengan memperhatikan algoritma tertentu.

ACCELEROMETER

Tegangan keluaran *accelerometer* (mV/g) menunjukkan percepatan dari benda yang melekat padanya, dengan g adalah gravitasi bumi. *Accelerometer* tipe MMA7260Q dapat digunakan untuk mengukur percepatan pada tiga sumbu pengukuran, yaitu terhadap sumbu x, sumbu y, dan sumbu z. Sensor ini dapat mengukur percepatan dari -1,5g s.d. 6g. Sensor *accelerometer* MMA7260Q dapat dilihat pada Gambar 1.



a.) Chip *accelerometer*.



b.) Blok diagram fungsional *accelerometer*.
Gambar 1. Accelerometer MMA7260Q

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. Sensitivitas *accelerometer* dapat diubah sewaktu-waktu selama *accelerometer* beroperasi. Pemilihan tingkat sensitivitas ini dilakukan dengan memberikan input logika pada pin *g-select1* dan *g-select2*. Deskripsi pemilihan tingkat sensitivitas pada sensor *accelerometer* MMA7260Q dapat diamati pada Tabel 1. Pilihan-pilihan tingkat sensitivitas ini diperlukan pada aplikasi yang membutuhkan sensitivitas yang berbeda-beda untuk hasil yang optimal. Sensor *accelerometer* ini memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi pada mode *g-Range* 1,5 g. Selain fasilitas *g-select*, sensor *accelerometer* MMA7260Q juga memiliki pengondisi sinyal internal berupa filter LPF orde 1 dan pengompensasi suhu yang memungkinkan sensor masih dapat bekerja sampai lebih dari 100°C. Sensor ini juga memiliki *sleep mode* sehingga sensor hanya akan mengonsumsi arus yang sangat kecil, yaitu 3 µA .

Tabel 1 Deskripsi tingkat sensitivitas MMA7260Q.

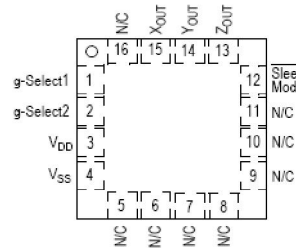
<i>g-select1</i>	<i>g-select2</i>	<i>g-Range</i>	<i>Sensitivity</i>
0	0	1,5 g	800 mV/g
0	1	2 g	600 mV/g
1	0	4 g	300 mV/g
1	1	6 g	200 mV/g

Sensor *accelerometer* MMA7260Q dapat beroperasi pada tegangan 2,2 V sampai 3,6 V dengan tegangan tipikal 3,3 V. Sensor ini memiliki tingkat konsumsi arus yang rendah, yaitu 500 µA. 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*. Dengan mode *g-range* 1,5 g, maka tegangan keluaran maksimal sensor dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$V_{o\ maks} = V_{offset} + (perc.\ maks.x\ sensitivitas) \quad (1)$$

Accelerometer MMA7260Q memiliki 16 pin yang terdiri dari pin-pin masukan catu daya, pin-pin keluaran, dan pin-pin untuk mengatur sensitivitas sensor. Gambar 2 menunjukkan konfigurasi pin-pin pada accelerometer MMA7260Q.



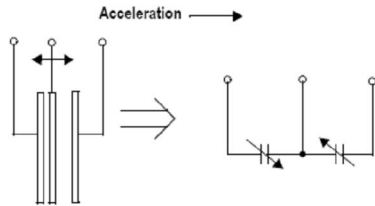
Gambar 2 Konfigurasi pin-pin accelerometer MMA7260Q.

Pada intinya, *accelerometer* MMA7260Q ini bekerja menggunakan prinsip konversi kapasitansi (C) ke tegangan. Alat ini terdiri dari dua permukaan sel mesin mikro yang bersifat kapasitif atau disebut juga *g-cell*. Struktur mekanik *g-cell* terbuat dari bahan semikonduktor (*polysilicon*) dan dapat dimodelkan sebagai sepasang sinar yang terpancarkan pada suatu benda yang bergerak diantara dua sumber sinar tetap. Benda tersebut akan bergerak ketika ada percepatan. Karena sinar terpancarkan pada benda yang bergerak tadi, maka jarak antara benda dengan sumber sinar tetap pada 1 sisi akan bertambah sejumlah berkurangnya jarak pada sisi yang lain. Hal ini menyebabkan berubahnya nilai masing-masing kapasitor yang dapat dirumuskan pada persamaan (2).

$$C = \epsilon (A/D) \quad (2)$$

A adalah luas bidang yang dipancarkan sinar, ϵ merupakan konstanta dielektrik, dan D adalah jarak antara sinar tetap dengan benda yang

bergerak. Gambaran sederhana model transduser *g-cell* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Model sederhana transduser *g-cell*.

Data jarak dari sensor accelerometer dengan melakukan integral ganda terhadap tegangan keluaran sensor (\vec{a}).

$$\vec{s} = \int (\int (\vec{a}) dt) dt \quad (3)$$

Hasil integral pada persamaan 3 belum menunjukkan nilai jarak sebenarnya, karena adanya sensitifitas, sehingga perlu dilakukan kalibrasi hasil perhitungan tersebut dengan nilai sebenarnya. Jika besar faktor kalibrasi adalah K , maka data jarak sebenarnya dapat dinyatakan pada persamaan 4.

$$\text{Jarak} = K \times \vec{s} \quad (4)$$

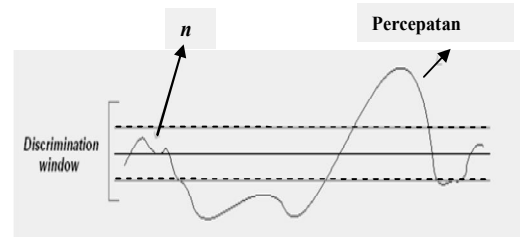
Salah satu metode untuk integral adalah metode Runge-Kutta dengan pendekatan *trapezoidal* seperti pada persamaan (5).

$$x_k = x_{k-1} + \frac{h}{2} [f(x_k, t_k) + f(x_{k-1}, t_{k-1})] \quad (5)$$

Dari persamaan (5) 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). Proses penghitungan ini dipengaruhi oleh waktu cuplik data, sehingga jeda waktu cuplik data (h) harus selalu konstan dan dibuat sekecil mungkin untuk menghindari kesalahan perhitungan.

Meskipun sudah difilter, data digital dari accelerometer masih terdapat kemungkinan mengandung *error* akibat derau mekanik. Derau mekanik ini terjadi pada *micromachine*, yang antara lain disebabkan oleh vibrasi mekanik dan pergerakan elektron. Ketika sensor dalam kondisi tidak bergerak sejumlah *error* kecil masih tampak pada sinyal keluaran sehingga nantinya sejumlah *error* tersebut akan terjumlahkan. Pada kondisi ideal, ketika sensor dalam kondisi tidak bergerak maka sinyal keluaran akan konstan pada tegangan *offset*. Oleh karena itu dibutuhkan metode yang dapat mengasumsikan sejumlah *error* kecil tadi sebagai tegangan *offset* yang konstan. Metode

tersebut disebut dengan *filtering window* atau *discrimination window*. Dengan adanya *discrimination window* maka daerah yang terletak antara data yang valid dengan data yang tidak valid akan mendapatkan perlakuan khusus. Penerapan *discrimination window* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Sinyal keluaran sensor Metode *discrimination window*.

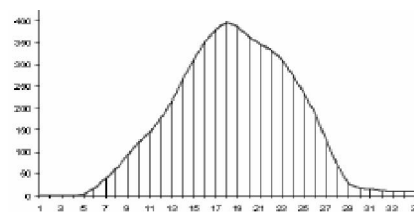
Berdasarkan Gambar 4, data yang berada dalam *discrimination window* akan dianggap sebagai derau. Percepatan yang sebenarnya adalah data di luar *discrimination window*. Tegangan derau inilah yang akan menjadi acuan dalam menentukan batas atas dan batas bawah dari metode *discrimination window*.

Pada saat digerakkan respon tegangan keluaran dari *accelerometer* berbentuk sinusoida, seperti pada Gambar 5. Hasil pengintegralan dari grafik respon *accelerometer* mempunyai bentuk seperti pada Gambar 6.



Gambar 5 Respon *accelerometer*.

Dari Gambar 5, terlihat bahwa jika dibandingkan dengan tegangan offset, tegangan percepatan bernilai positif, kemudian berubah menjadi negatif, dan akhirnya kembali ke titik nol.



Gambar 6 Grafik hasil integral respon *accelerometer*.

Pada Gambar 6 diperlihatkan integral pertama dari suatu respon accelerometer. Pada kondisi ideal, suatu benda yang menempuh jarak tertentu, pada awalnya kecepatannya akan semakin bertambah, kemudian kecepatan akan mencapai nilai maksimal, dan pada akhirnya kecepatan akan kembali ke nilai nol. Pada kenyataannya kecepatan tersebut tidak selalu kembali ke nol, sehingga dapat menyebabkan kesalahan pada integral kedua, karena data percepatan yang belum kembali ke nol diintegrasikan terus padahal benda sudah tidak bergerak.

PERANCANGAN

Untuk memperoleh data berupa kecepatan maka dibutuhkan pengintegralan terhadap data percepatan. Data jarak diperoleh dengan mengintegrasikan data kecepatan atau integral ganda terhadap data percepatan. Berikut ini senarai program integral ganda dari data percepatan pada sumbu x.

```
//program pengintegralan sumbu x
integral1_X:=integral1_X+spl/2*(accel_X+accel_sblmX);
integral2_X:=integral2_X+spl/2*(integral1_X+integral1sblm_X);
//program pengintegralan sumbu y
integral1_Y:=integral1_Y+spl/2*(accel_Y+accel_sblmY);
integral2_Y:=integral2_Y+spl/2*(integral1_Y+integral1sblm_Y);
//program pengintegralan sumbu z
integral1_Z:=integral1_Z+spl/2*(accel_Z+accel_sblmZ);
integral2_Z:=integral2_Z+spl/2*(integral1_Z+integral1sblm_Z);
```

Pada umumnya derau yang terjadi saat *offset* berada pada kisaran 1 angka di atas dan di bawah data ADC *offset*. Setelah adanya penguatan pada keluaran sumbu x sebesar 1,818 kali, data ADC *offset* pada sumbu x adalah 146 dan derau berikisar antara 145 dan 147. Selisih 1 angka ini jika dikonversikan menjadi tegangan, adalah sebagai berikut :

$$V_x = 1 \times (1000 \times 5/255) / 1,818$$

$$V_x = 10,79 \text{ mV}$$

Jadi batas atas sumbu x lebih besar daripada 10,79 mV. Batas *windowing* pada sumbu y dan z adalah sebagai berikut :

$$V_y = 1 \times (1000 \times 5/255) / 1,712$$

$$V_y = 11,45 \text{ mV}$$

$$V_z = 1 \times (1000 \times 5/255) / 1,55$$

$$V_z = 12,65 \text{ mV}$$

Pada pemrograman *windowing* sumbu x, batas atas (tlx) ditentukan sebesar 15 mV dan batas bawah (bwx) sebesar -15 mV, pada sumbu y batas atas (tly) ditentukan sebesar 15 mV dan batas bawah (bwy) sebesar -15 mV, dan pada sumbu z batas atas (tlz) ditentukan sebesar 13

mV dan batas bawah (bwz) sebesar -13 mV. Ada dua algoritma yang digunakan pada metode *discrimination window*, yaitu :

- A1. Algoritma 1, dengan menganggap derau yang terjadi sama dengan tegangan *offset*, sehingga derau tersebut tidak tampak.
- A2. Algoritma 2, algoritma ini hampir sama dengan algoritma yang pertama. Perbedaannya terletak pada data referensi yang digunakan sebagai acuan dalam perhitungan selisih tegangan.

Pada kenyataannya, pada Gambar 5, luas area di bawah sisi positif grafik tidak sama dengan luas area di atas sisi negatif grafik. Hal ini mengakibatkan kecepatan tidak pernah mencapai nilai nol. Oleh karena itu diperlukan metode yang dapat mengasumsikan kecepatan selalu mencapai nilai nol/benda berhenti bergerak. Ada 2 metode yang dapat digunakan untuk pengecekan akhir gerak benda :

- M1. Akhir integral dengan menentukan batas akhir integral pertama
Kecepatan merupakan hasil integral pertama dari percepatan. Untuk memastikan kecepatan bernilai nol ketika benda berhenti, maka hasil integral 1 perlu dibatasi. Hasil percobaan penentuan batas integral 1 pada sumbu x, sumbu y, dan sumbu z dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Penentuan batas integral 1.

No	Sumbu x	Sumbu y	Sumbu z
1	0,82	0,473	0
2	0,934	0,377	0
3	1,007	0,296	0
4	1,007	0,230	0,067
5	0,869	0,177	0,23
6	0,674	0,136	0,468
7	0,453	0,107	0,736
8	0,217	0,083	1,009
9	0,041	0,066	1,245
10	-0,032	0,053	1,361
11	0	0,053	1,114
12	0,0142	0,043	1,114
13	0,0142	0,034	0,734
14	0,0142	0,034	0,311
15	0,0142	0,034	0

Dari Tabel 1 dapat diamati bahwa hasil integral 1 untuk sumbu x tidak mencapai nol, hanya mencapai 0,0142, maka pembatasan hasil integral 2 ditentukan di atas 0,0142, yaitu 0,015. Hasil integral 1 untuk sumbu y tidak mencapai nol, hanya mencapai nilai 0,034, sehingga pembatasan hasil integral 1 ditentukan di atas 0,034, yaitu 0,038. Hasil integral 1 pada sumbu z mencapai nilai nol. Oleh karena itu, tidak diperlukan batasan

integral 1 atau dengan kata lain batas integral 1 adalah nol.

M2. Akhir integral dengan menambah pencuplikan
Metode ini hampir sama dengan metode 1, yaitu dengan menggunakan batas integral 1. Setelah integral 1 mencapai batas yang ditentukan, akan dilakukan penambahan 2 pencuplikan terhadap data percepatan.

Faktor kalibrasi diperoleh dengan membandingkan antara jarak sebenarnya dengan jarak hasil pembacaan sensor *accelerometer*. Jarak sebenarnya diperoleh dengan menggunakan alat ukur panjang (meteran/penggaris). Dari dua algoritma pada *discrimination window* dan dua metode yang dapat digunakan untuk pengecekan akhir gerak benda, maka didapatkan empat kombinasi, untuk masing-masing sumbu, dalam menentukan faktor kalibrasi.

Algoritma A₁ dan metode M₁

Hasil penentuan faktor kalibrasi sumbu x, y, dan z diperlihatkan pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 3 Pengujian faktor kalibrasi.

No	Jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	Faktor kalibrasi
1.	6,448	15	2,3263
2.	14,069	30	2,1323
3.	22,414	45	2,0077
4.	28,018	60	2,1415
5.	38,04	75	1,9716
Rata-rata			2,1158

Tabel 4 Pengujian faktor kalibrasi sumbu y .

No	Jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	Faktor kalibrasi
1.	7,139	15	2,1011
2.	17,339	30	1,7302
3.	28,899	45	1,5571
4.	40,446	60	1,4834
5.	47,935	75	1,5646
Rata-rata			1,6873

Tabel 5 Pengujian faktor kalibrasi sumbu z .

No	Jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	Faktor kalibrasi
1.	7,206	15	2,0816
2.	10,267	20	1,9479
3.	12,824	25	1,9495
4.	12,889	30	2,3275
5.	16,24	40	2,4631
Rata-rata			2,1539

Faktor kalibrasi rata-rata pada sumbu x adalah 2,116, faktor kalibrasi rata-rata pada sumbu y sebesar 1,687, dan faktor kalibrasi pada sumbu z sebesar 2,154.

Algoritma A₁ dan metode M₂

Hasil penentuan faktor kalibrasi sumbu x, y, dan z diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Pengujian faktor kalibrasi 3 sumbu.

No	Faktor Kalibrasi x	Faktor Kalibrasi y	Faktor Kalibrasi z
1.	2,2262	1,6922	2,6210
2.	2,1435	1,5206	2,7666
3.	1,9859	1,6207	2,1418
4.	2,0117	1,5966	2,4187
5.	1,9998	1,5979	2,2853
Rata-rata		2,0734	2,4467

Faktor kalibrasi rata-rata pada sumbu x adalah 2,073, faktor kalibrasi rata-rata pada sumbu y sebesar 1,598, dan faktor kalibrasi pada sumbu z sebesar 2,447.

Algoritma A₂ dan metode M₁

Hasil penentuan faktor kalibrasi sumbu x, y, dan z diperlihatkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Pengujian faktor kalibrasi 3 sumbu.

No	Faktor Kalibrasi x	Faktor Kalibrasi y	Faktor Kalibrasi z
1.	1,9778	1,9692	2,2424
2.	1,9752	1,6171	2,4207
3.	2,0730	1,4697	2,1438
4.	2,0966	1,3805	2,3976
5.	2,3240	1,3971	2,6348
Rata-rata		2,0893	2,3679

Faktor kalibrasi rata-rata pada sumbu x adalah 2,089, faktor kalibrasi rata-rata pada sumbu y sebesar 1,567, dan faktor kalibrasi pada sumbu z sebesar 2,368.

Algoritma A₂ dan metode M₂

Hasil penentuan faktor kalibrasi sumbu x, y, dan z diperlihatkan pada Tabel 8.

Tabel 8 Pengujian faktor kalibrasi 3 sumbu.

No	Faktor Kalibrasi x	Faktor Kalibrasi y	Faktor Kalibrasi z
1.	1,9778	1,9692	2,2424
2.	1,9752	1,6171	2,4207
3.	2,0730	1,4697	2,1438
4.	2,0966	1,3805	2,3976
5.	2,3240	1,3971	2,6348
Rata-rata		2,0893	2,3679

Faktor kalibrasi rata-rata pada sumbu x adalah 2,0186, faktor kalibrasi rata-rata pada sumbu y sebesar 1,5548, dan faktor kalibrasi pada sumbu z sebesar 2,5354.

HASIL DAN ANALISIS

Algoritma A₁ dan metode M₁.

Dengan faktor kalibrasi yang telah diperoleh pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5 diperoleh hasil pengujian jarak pada Tabel 9, Tabel 10, dan Tabel 11.

Tabel 10 Pengujian jarak sumbu x.

No	Jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	Error Jarak (cm)	Persentase Error (%)
1.	15,868	15	0,868	5,7867
2.	30,996	30	0,996	3,32
3.	45,691	45	0,691	1,5356
4.	59,601	60	0,399	0,665
5.	77,26	75	2,26	3,0133
Rata-rata				2,8641

Tabel 10 Pengujian jarak sumbu y.

No	Jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	Error Jarak (cm)	Persentase Error (%)
1.	14,933	15	0,067	0,44667
2.	28,431	30	1,569	5,23
3.	47,658	45	2,658	5,9067
4.	60,891	60	0,891	1,485
5.	80,491	75	5,491	7,3213
Rata-rata				4,0779

Tabel 11 Pengujian jarak sumbu z .

No	Jarak tercatat (cm)	Jarak sebenarnya (cm)	Error Jarak (cm)	Persentase Error (%)
1.	15,539	15	0,539	3,5933
2.	19,637	20	0,363	1,815
3.	25,155	25	0,155	0,62
4.	31,056	30	1,056	3,52
5.	41,738	40	1,738	4,345
Rata-rata				2,7787

Rata-rata *error* pada sumbu x adalah 2,8641%, pada sumbu y adalah 4,0779%, dan pada sumbu z adalah 2,7787%.

Algoritma A₁ dan metode M₂

Dengan faktor kalibrasi yang telah diperoleh pada Tabel 6, diperoleh hasil pengujian jarak pada Tabel 12.

Tabel 12 Pengujian jarak pada 3 sumbu.

No	Error (%) Sumbu x	Error (%) Sumbu y	Error (%) Sumbu z
1.	1,7867	7,4533	3,40667
2.	8,7933	0,59	0,82
3.	3,3156	9,8022	10,084
4.	0,075	2,69	8,01
5.	0,8213	4,828	5,505
Rata-rata			2,9584

Rata-rata *error* pada sumbu x adalah 2,9584%, pada sumbu y adalah 5,0727%, dan pada sumbu z adalah 5,5651%.

Algoritma A₂ dan metode M₁

Dengan faktor kalibrasi yang telah diperoleh pada Tabel 7 diperoleh hasil pengujian jarak pada Tabel 13.

Tabel 13 Pengujian jarak pada 3 sumbu.

No	Error (%) Sumbu x	Error (%) Sumbu y	Error (%) Sumbu z
1.	12,1	4,7667	3,7067
2.	1,35	7,1767	4,84
3.	1,7511	3,5511	5,348
4.	2,0167	0,8483	4,0167
5.	3,7013	2,6920	4,925
Rerata			4,1838

Rata-rata *error* pada sumbu x adalah 4,1838%, pada sumbu y adalah 3,8069%, dan pada sumbu z adalah 4,5672%.

Algoritma A₂ dan metode M₂

Dengan faktor kalibrasi yang telah diperoleh pada Tabel 8 diperoleh hasil pengujian jarak pada Tabel 14.

Tabel 14 Pengujian jarak pada 3 sumbu.

No	Error (%) Sumbu x	Error (%) Sumbu y	Error (%) Sumbu z
1.	10,7333	5,82	3,6333
2.	1,6567	13,1133	4,44
3.	0,3733	4,7356	8,848
4.	2,78	1,83	7,6333
5.	3,2507	2,3707	2,77
Rata-rata			3,7588

Rata-rata *error* pada sumbu x adalah 3,7588%, pada sumbu y adalah 5,5739%, dan pada sumbu z adalah 5,4649%.

PENUTUP

Faktor kalibrasi pada ketiga sumbu accelerometer menghasilkan nilai yang berbeda-beda. Pada umumnya pengujian dengan menggunakan algoritma A1 dan metode M2 memberikan nilai error yang lebih kecil, yaitu dengan nilai faktor kalibrasi untuk sumbu x sebesar 2,1158, untuk sumbu y sebesar 1,6873, dan untuk sumbu z sebesar 2,1539.

Galat pengujian jarak masih cukup besar yaitu sekitar 3% sampai 4%, sehingga untuk memperbaiki galat tersebut diperlukan adanya tambahan tapis digital.

DAFTAR RUJUKAN

- Berlin, H. M., *Mendesain Rangkaian Op-Amp*
Binatronika, 1994.
- Elert, G., *Acceleration*,
[http://www.hypertextbook.com/physics
/mechanics/Acceleration](http://www.hypertextbook.com/physics/mechanics/Acceleration), Nov. 2008.
- Seifert, K. dan Camacho, O., *Implementing
Positions Algorithm using
Accelerometers*, Freescale
Semiconductor, 2007.
- , *LM317 Data Sheet*,
<http://www.fairchildsemi.com>, Nov.
2008.
- , *MMA7260Q Data Sheet*,
<http://www.freescale.com>, April 2008.
- , *Solutions Based in Accelerometers*,
<http://www.freescale.com>, Maret 2009.