

Hasil Pengujian Kalibrasi Sensor Akselerometer ADXL345

Quart Ferrina^(1,a), Sri Ratna Sulistiyanti^(2,b), dan Junaidi^(1,c)

⁽¹⁾Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141

⁽²⁾ Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141

Email : ^(a)quartferrina@gmail.com, ^(b)sr_sulistiyanti@eng.unila.ac.id, ^(c)junaidi.1982@fmipa.unila.ac.id

Diterima (18 Juni 2021), Direvisi (19 Juni 2022)

Abstract. MEMS sensors commonly used in various studies for cost efficiency in production and well produced in large quantities. Sensor calibrate was important because of large quantities product and ensure that product can be operate proper and the output based on standard production. The ADXL345 sensor calibration test is carried out by measuring the output acceleration on a combination of 3 axes X, Y, and Z, named X+ (X axis gets a positive gravitational acceleration of 1 g), X- (X axis gets a negative gravitational acceleration of 1 g), Y+, Y-, Z+, and Z-. A total of 100 data were collected and 10 data were presented in tables in each condition and presented in graphical form. ZeroG offset testing on the X-axis and Y-axis is carried out in the Z+ condition because in this condition the X-axis and Y-axis get a natural acceleration of Earth's gravity of 0 g. In this condition, the acceleration value on the Z axis is 0.9074g. For the X axis is -0.0048 g and -0.0778 g for the Y axis. This value is obtained from the average acceleration value of the X axis and Y axis in the Z+ condition. The zeroG offset test on the Z axis is determined by taking the middle value of the average measurement results in the Z+ and Z- conditions. This value is not the same as the typical value in the datasheet of 0 g, but the 0g offset value of these three axes is still within the minimum range of the sensor datasheet. The sensitivity value of the sensor in the calibration test results has a tendency to differ on each axis. The X-axis of 4.0012 mg/LSB maximum range, Y-axis of 3.9900 mg/LSB close to the values on the data sheet, and Z-axis of 3.7403 mg/LSB near the range of values.

Keywords: accelerometer, ADXL345, MEMS, calibration.

Abstrak. Penggunaan sensor MEMS telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian guna efisiensi biaya produksi sekaligus dapat diproduksi dalam jumlah yang besar. Produksi dalam jumlah yang besar menyebabkan pentingnya mengkalibrasi setiap sensor sebelum digunakan dalam penelitian guna memastikan bahwa sensor dapat dioperasikan dengan baik dan memiliki keluaran yang sudah sesuai dengan standar produksi. Pengujian kalibrasi sensor ADXL345 dilakukan dengan pengukuran percepatan keluaran pada kombinasi 3 sumbu X, Y, dan Z, yaitu pada X+ (axis X mendapatkan percepatan gravitasi positif 1 g), X- (axis X mendapatkan percepatan gravitasi negatif 1 g), Y+, Y-, Z+, dan Z-. Sebanyak 100 data dikumpulkan dan 10 data disajikan pada tabel di setiap kondisi serta ditampilkan dalam bentuk grafik. Pengujian zeroG offset pada axis X dan axis Y dilakukan pada kondisi Z+ karena pada kondisi ini axis X dan axis Y mendapatkan percepatan alami gravitasi bumi sebesar 0 g. Pada kondisi ini, nilai percepatan pada axis Z adalah 0,9074g. Untuk axis X adalah -0,0048 g dan -0,0778 g untuk axis Y. Nilai ini didapatkan dari nilai percepatan rata – rata axis X dan axis Y pada kondisi Z+. Pengujian zeroG offset pada axis Z ditentukan dengan mengambil nilai tengah dari rata – rata hasil pengukuran pada kondisi Z+ dan Z-. Nilai ini tidak sama dengan nilai typical dalam datasheet sebesar 0 g, namun nilai 0g offset ketiga sumbu ini masih masuk dalam jangkauan minimum datasheet sensor. Nilai sensitivitas pada sensor pada hasil uji kalibrasi memiliki kecenderungan perbedaan pada tiap sumbunya. Sumbu X sebesar 4,0012 mg/LSB mendekati jangkauan maksimum, sumbu Y sebesar 3,9900 mg/LSB mendekati nilai typical pada datasheet, dan sumbu Z sebesar 3,7403 mg/LSB mendekati jangkauan nilai minimum.

Kata kunci: akselerometer, ADXL345, MEMS, kalibrasi

PENDAHULUAN

Penggunaan sensor MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian di era globalisasi. Hal ini dimanfaatkan sebagai miniaturisasi berbagai instrumentasi sehingga mengefisiensi bahan material yang digunakan dan dapat diproduksi dalam jumlah yang besar. Produksi dalam jumlah yang besar menyebabkan pentingnya mengkalibrasi setiap sensor sebelum digunakan dalam penelitian guna memastikan bahwa sensor dapat dioperasikan dengan baik dan memiliki keluaran yang sudah standar sesuai dengan standar produksi. Diantara sensor MEMS yang telah banyak digunakan adalah sensor suhu, kelembapan, getaran, dan percepatan atau akselerometer.

Akselerometer merupakan sensor yang berfungsi mengukur percepatan linier akibat gerak suatu benda ataupun percepatan gravitasi bumi. Akselerometer dimanfaatkan untuk penelitian terkait pemantauan terhadap getaran [1], [2] pengukuran gravitasi [3], Jaringan akselerometer yang tersistem dapat pula dimanfaatkan sebagai system EEWS (*Earthquake Early Warning System*) [4]. Sensor akselerometer MEMS ini memiliki prinsip menggabungkan komponen mekanik dan elektrik dalam skala mikro. Komponen mekanik berfungsi sebagai mikrosensor yang mendeteksi perubahan percepatan pada lingkungan sekitarnya sedangkan komponen elektrik akan memproses informasi tersebut sebagai sinyal bentuk fisis lain sesuai perubahan yang terjadi.

Sensor akselerometer ADXL345 merupakan pengembangan dari sensor ADXL335. Sebelumnya Sensor ADXL335 ini telah dimanfaatkan dalam penelitian pemantauan aktivitas gempabumi [5], [6], dan diuji kalibrasinya [7], [8]. Beberapa

pengembangan dalam sensor ini diantaranya keluaran sensor ADXL345 yang digital, jangkauan deteksi sensor serta sensitivitas yang lebih bervariasi dan detil. Sensor ini telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian terkait mendeteksi kemiringan dengan memantau perubahan gaya tarik statis (*static gravity acceleration on tilt sensing application*) dan percepatan dinamis (*dynamic acceleration*) yang timbul akibat gerakan (*motion*) atau tumbukan (*impact shock*), perhitungan getaran, kecepatan, maupun percepatan yang terukur dalam tiga sumbu (x, y, dan z). Sensor keluaran produk dari Analog Devices ini disebut juga sebagai mikroakselerometer karena ukuran penyusun komponennya berkisar antara 1 μ m sampai dengan 1 mm.

Penelitian ini ditujukan mengkalibrasi sensor akselerometer ADXL345 dengan memberikan gaya gravity 1 g sebagai referensi pada tiap – tiap sumbu saat kondisi sensor berada pada keadaan diam. Kalibrasi penting dilakukan untuk mengetahui respon alami keluaran sensor dan tidak mengubah keluaran sensor. Hasil kalibrasi yang diharapkan adalah keluaran sensor saat kondisi stabil ± 1 g di tiap sumbunya sehingga dapat dilakukan perhitungan keluaran sensor saat pengoperasian alat.

Kalibrasi perlu dilakukan untuk mengurangi nilai error dan memastikan bahwa sensor ADXL345 yang akan digunakan dalam penelitian telah berfungsi sesuai nilai standar yang tertera pada datasheet ADXL345.

Sensor Akselerometer ADXL345

Sensor akselerometer ADXL345 memiliki pilihan range pengukuran dari ± 2 g hingga ± 16 g. Pengoperasian pada range terendah yaitu ± 2 g, sensitivitas dari akselerometer ADXL345 adalah sebesar

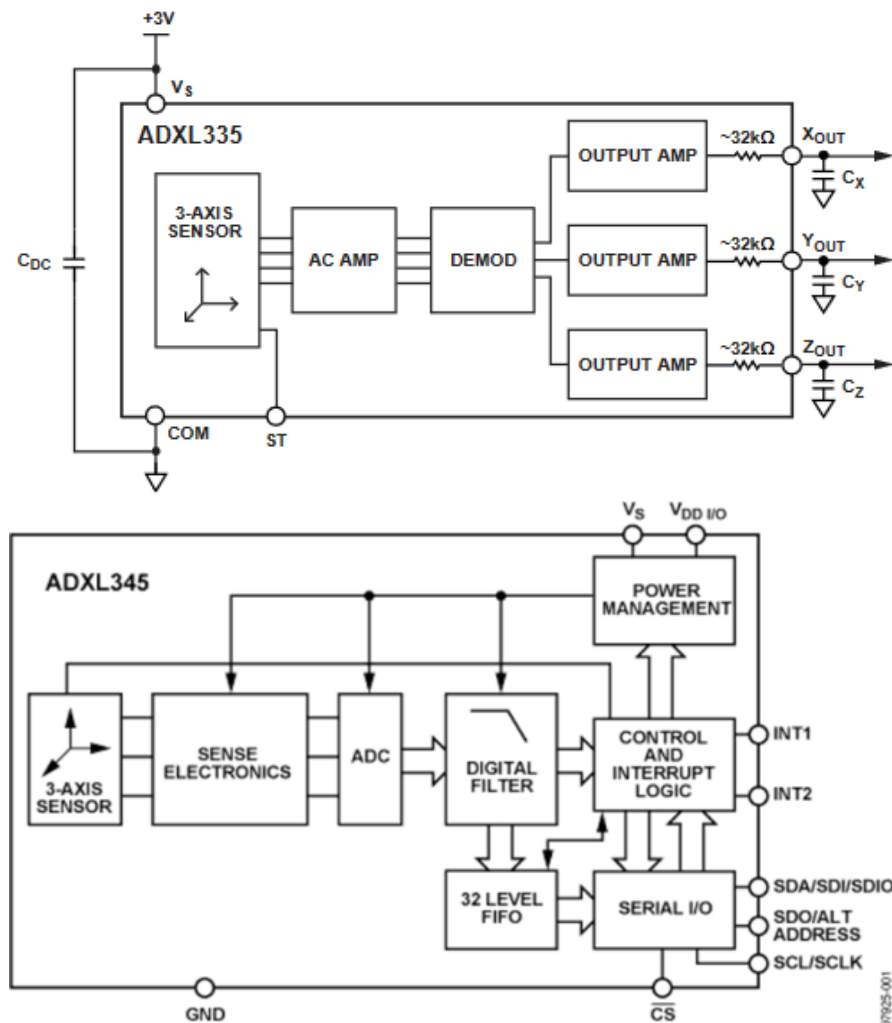
256 LSB/g yang berarti percepatan gravitasi sebanding dengan keluaran data sebesar 256, sedangkan apabila dioperasikan pada range tertinggi yaitu $\pm 16g$, sensitivitasnya berkurang hingga menjadi 32 LSB/g.

Sensor ini memerlukan catudaya 2 – 3,6 Volt dengan konsumsi arus kurang dari 25 μA pada saat deteksi dan 0,1 μA pada saat siaga, pin antarmuka toleran terhadap tegangan 5V.

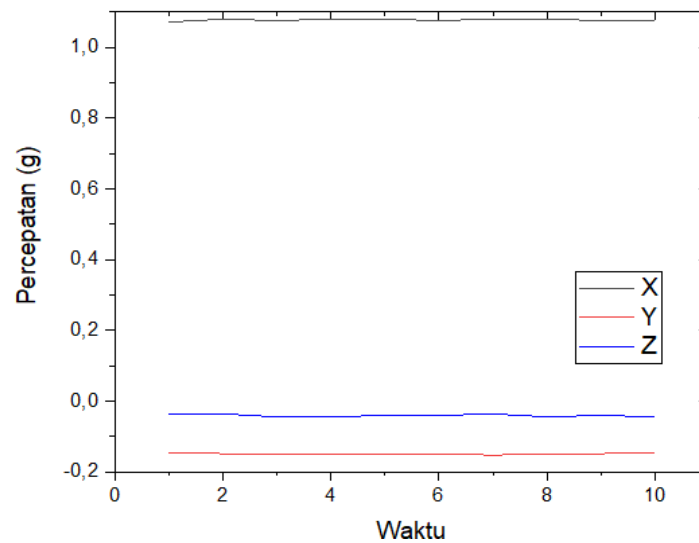
Berdasarkan pada **Gambar 1** dapat terlihat perbedaan Sensor ADXL335 dan sensor ADXL345 berdasarkan blok diagram modul sensor. Sensor ADXL345

memiliki ADC (Analog Digital Converter) yang berfungsi mengkonversi data analog menjadi data digital, Digital Filter untuk menghilangkan noise saat konversi, serta Serial I/O yaitu port yang akan dihubungkan dengan mikrokontroler [9], [10].

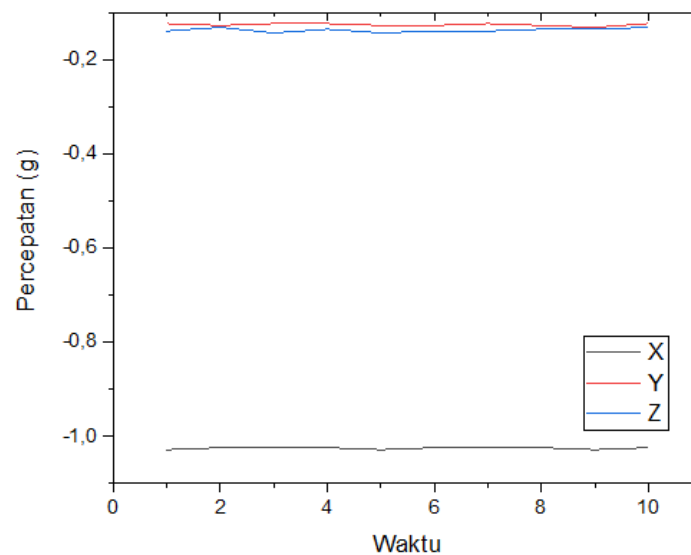
Sensor ADXL335 yang memiliki keluaran analog menghasilkan tegangan kontinu dalam gelombang sinusoidal pada masing – masing sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z serta diperlukan komponen elektronika tambahan apabila ingin memfilter hasil keluaran sensor.



Gambar 1. Perbedaan Blok Diagram fungsional ADXL335 dan ADXL345



Gambar 2. Nilai percepatan pada saat sensor berada dalam kondisi sumbu X+



Gambar 3. Nilai percepatan pada saat sensor berada dalam kondisi sumbu X-

Pengujian Dan Analisis

Pengujian karakteristik sensor ADXL345 dilakukan dengan mengukur besar percepatan masing-masing sumbu saat satu garis dengan arah gaya tarik Bumi. Kombinasi sumbu X, Y, dan Z saat mendapatkan percepatan gravity +1 g dan -1g. Data dikumpulkan sebanyak 100 data pada masing-masing kondisi dan ditampilkan dalam tabel sebanyak 10 data.

Pengujian pada sumbu X dilakukan dengan memberi percepatan sumbu X

sebesar 1g baik pada kondisi sumbu X+ maupun sumbu X-.

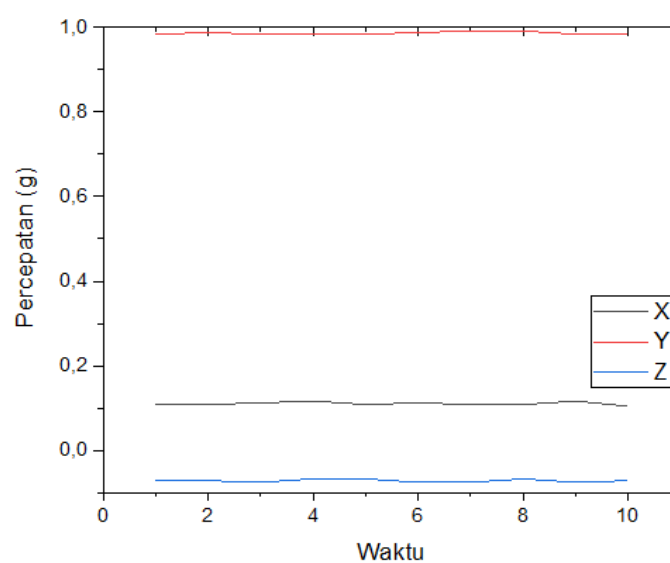
Berdasarkan **Gambar 2** terlihat bahwa posisi X+ memberikan nilai percepatan X sebesar 1g sementara sumbu Y dan sumbu Z berada pada kisaran nilai 0,0g dan 0,1g. Sementara pada **Gambar 3** terlihat bahwa sumbu X berada pada nilai -1g dan sumbu X serta sumbu Y berada pada nilai 0,1g.

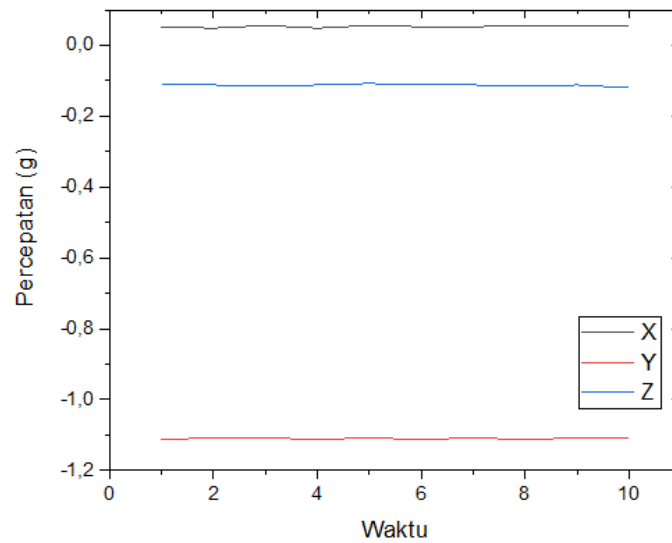
Tabel 1. Nilai percepatan tiap sumbu pada kondisi X+ dan kondisi X- (10 data)

No	Pada kondisi X+			Pada kondisi X-		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	1,072	-0,144	-0,036	-1,028	-0,124	-0,140
2	1,080	-0,148	-0,036	-1,024	-0,128	-0,132
3	1,076	-0,148	-0,044	-1,024	-0,124	-0,144
4	1,080	-0,148	-0,044	-1,024	-0,124	-0,136
5	1,080	-0,148	-0,040	-1,028	-0,128	-0,144
6	1,076	-0,148	-0,040	-1,024	-0,128	-0,140
7	1,080	-0,152	-0,036	-1,024	-0,124	-0,140
8	1,080	-0,148	-0,044	-1,024	-0,128	-0,136
9	1,076	-0,148	-0,040	-1,028	-0,132	-0,136
10	1,076	-0,144	-0,044	-1,024	-0,124	-0,132

Tabel 2. Nilai percepatan tiap sumbu pada kondisi Y+ dan kondisi Y- (10 data)

No	Pada kondisi Y+			Pada kondisi Y-		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0,108	0,984	-0,072	0,052	-1,112	-0,112
2	0,108	0,988	-0,072	0,048	-1,108	-0,112
3	0,112	0,984	-0,076	0,056	-1,108	-0,116
4	0,116	0,984	-0,068	0,048	-1,112	-0,112
5	0,108	0,984	-0,068	0,056	-1,108	-0,108
6	0,112	0,988	-0,076	0,052	-1,112	-0,112
7	0,108	0,992	-0,076	0,052	-1,108	-0,112
8	0,108	0,992	-0,068	0,056	-1,112	-0,116
9	0,116	0,984	-0,076	0,056	-1,108	-0,112
10	0,104	0,984	-0,072	0,056	-1,108	-0,120

**Gambar 4.** Nilai percepatan pada saat sensor berada dalam kondisi sumbu Y+



Gambar 5. Nilai percepatan pada saat sensor berada dalam kondisi sumbu Y-

Pengujian pada sumbu Y dilakukan dengan memberi percepatan sumbu Y sebesar 1g baik pada kondisi sumbu Y+ maupun sumbu Y-.

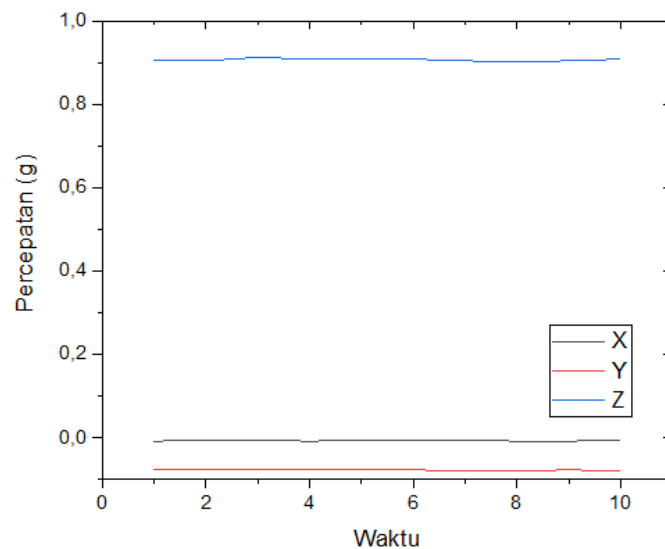
Gambar 4 menunjukkan grafik hasil pengukuran pada kondisi Y+ dan Y-. Pada kondisi Y+ nilai percepatan sumbu Y berada pada nilai 0,98 sementara sumbu X dan sumbu Z berada pada kisaran nilai 0,1g dan -0,1g. Sementara pada Gambar 5 terlihat bahwa sumbu Y berada pada nilai -

1,1g dan sumbu X serta sumbu Y berada pada nilai 0,1g dan -0,1g.

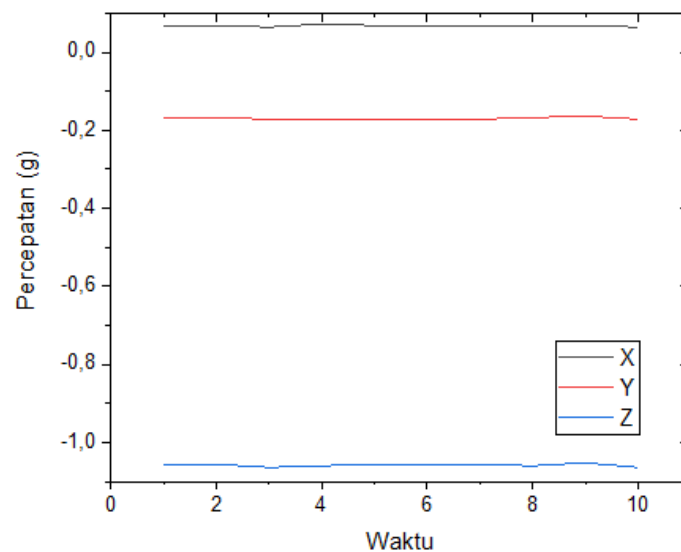
Pengujian pada sumbu Z dilakukan dengan memberi percepatan sumbu Z sebesar 1g baik pada kondisi sumbu Z+ maupun sumbu Z-. Hasil pengujian disajikan dalam **Tabel 3**.

Tabel 3. Nilai percepatan tiap sumbu pada kondisi Z+ dan kondisi Z- (10 data)

No	Pada kondisi Z+			Pada kondisi Z-		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-0,008	-0,076	0,904	0,068	-0,168	-1,056
2	-0,004	-0,076	0,904	0,068	-0,168	-1,056
3	-0,004	-0,076	0,912	0,064	-0,172	-1,064
4	-0,008	-0,076	0,908	0,072	-0,172	-1,060
5	-0,004	-0,076	0,908	0,068	-0,172	-1,056
6	-0,004	-0,076	0,908	0,068	-0,172	-1,056
7	-0,004	-0,080	0,904	0,068	-0,172	-1,056
8	-0,008	-0,080	0,900	0,068	-0,168	-1,060
9	-0,008	-0,076	0,904	0,068	-0,164	-1,052
10	-0,004	-0,080	0,908	0,064	-0,172	-1,064

**Gambar 6.**

Nilai percepatan pada saat sensor berada dalam kondisi sumbu Z+

**Gambar 7.** Nilai percepatan pada saat sensor berada dalam kondisi sumbu Z-

Gambar 6 menampilkan grafik hasil pengukuran pada kondisi Z+ dan Z-. Pada kondisi Z+ nilai percepatan sumbu Y berada pada nilai 0,98 sementara sumbu X dan sumbu Y berada pada kisaran nilai 0,0g. Sementara pada **Gambar 7**, terlihat bahwa sumbu Y berada pada nilai -1,1g dan sumbu X serta sumbu Y berada pada nilai 0,0g dan -0,1g.

Tabel 4. Rata – rata keluaran percepatan pada setiap kondisi

Kondisi	Sumbu		
	X	Y	Z
X+	1,0766	-0,1476	-0,0386
X-	-1,0245	-0,1251	-0,138
Y+	0,1101	0,9855	-0,0719
Y-	0,0538	-1,1097	-0,1098
Z+	-0,0048	-0,0778	0,9074
Z-	0,0664	-0,169	-1,0567

Pengujian zeroG offset pada axis X dan axis Y dilakukan pada kondisi Z+ karena pada kondisi ini axis X dan axis Y mendapatkan percepatan alami sebesar 0g. Pada kondisi ini, nilai percepatan pada axis Z adalah 0,9074g . Untuk axis X adalah -0,0048 g dan -0,0778 g untuk axis Y. Nilai ini didapatkan dari nilai percepatan rata – rata axis X dan axis Y pada kondisi Z+. Pengujian zeroG offset pada axis Z ditentukan dengan mengambil nilai tengah dari rata – rata hasil pengukuran pada kondisi Z+ dan Z- seperti yang ditunjukkan pada **Persamaan 1**.

$$a_{0g} \text{ axis Z} = \frac{a_{z \max} + a_{z \min}}{2} \quad (1)$$

$$a_{0g} \text{ axis Z} = \frac{0,907406 + -1,05673}{2}$$

$$a_{0g} \text{ axis Z} = -0,0746 \text{ g}$$

Tabel 5 menunjukkan nilai zeroG offset sensor pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. Dalam perbandingannya dengan *datasheet* sensor, ketiga sumbu tersebut menunjukkan nilai mendekati nilai *typical* sesuai dengan *datasheet* sensor yang artinya, sensor ini sesuai dengan standar produksi.

Tabel 5. Perbandingan nilai 0g offset dari *datasheet* dan pengujian

Sumbu	0g OFFSET			Pengujian
	Min	Typical	Max	0g OFFSET
X	-0,15	0	0,15	-0,0048
Y	-0,15	0	0,15	-0,0778
Z	-0,25	0	0,25	-0,0746

Tabel 6. Sensitivitas masing – masing axis dari pengujian

Sumbu	$\mu(\frac{mg}{LSB})$ dari data sheet			$\mu(\frac{mg}{LSB})$ dari Pengujian
	Min	Typical	Max	$\frac{a_{(+1g)} - a_{(-1g)}}{2LSB}$
X	3,5	3,9	4,3	4,0012
Y	3,5	3,9	4,3	3,9900
Z	3,5	3,9	4,3	3,7403

Sensitivitas sensor dihitung dengan nilai setengah dari kondisi positif dan negative pada tiap – tiap sumbu dan dikalikan dengan nilai koefisien. Nilai maksimum resolusi yang dimiliki sebesar 13 bits dan memiliki koefisien 3,9 mg/LSB (Iwaniec, 2017). Hasil uji sensitivitas tertera pada **Tabel 6**. Tabel ini menunjukkan perbandingan antara nilai sensitivitas sensor ADXL345 yang tertera pada *datasheet* dengan nilai sensitivitas berdasarkan hasil pengujian kalibrasi sensor.

KESIMPULAN

Pengujian zeroG offset pada axis X dan axis Y dilakukan pada kondisi Z+ karena pada kondisi ini axis X dan axis Y mendapatkan percepatan alami gravitasi bumi sebesar 0 g. Pada kondisi ini, nilai percepatan pada axis Z adalah 0,9074g . Untuk axis X adalah -0,0048 g dan -0,0778 g untuk axis Y. Nilai ini didapatkan dari nilai percepatan rata – rata axis X dan axis Y pada kondisi Z+. Pengujian zeroG offset pada axis Z ditentukan dengan mengambil nilai tengah dari rata – rata hasil pengukuran pada kondisi Z+ dan Z-. Nilai ini tidak sama dengan nilai *typical* dalam *datasheet* sebesar 0 g, namun nilai 0g offset ketiga sumbu ini masih masuk dalam jangkauan minimum *datasheet* sensor.

Nilai sensitivitas pada sensor pada hasil uji kalibrasi memiliki kecenderungan perbedaan pada tiap sumbunya. Sumbu X sebesar 4,0012 mg/LSB mendekati jangkauan maksimum, sumbu Y sebesar 3,9900 mg/LSB mendekati nilai *typical* pada *datasheet*, dan sumbu Z sebesar 3,7403 mg/LSB mendekati jangkauan nilai minimum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Kholifah, A. Surtono, and G. A. Pauzi, “Realisasi Sistem Akuisisi

- Data Spektrum Getaran Pada Accelerometer MMA7361 Menggunakan Micro SD Dan Komputer,” vol. 03, no. 02, pp. 179–187, 2015.
- [2] H. Rahmat, “Prototype pendeteksi getaran dengan sensor accelerometer berbasis mikrokontroler,” 2017.
- [3] A. Alrozy, H. Nugroho, M. Yusuf, “Relative gravimeter prototype based on micro electro mechanical system”, 2017.
- [4] M. Erdik, Y. Fahjan, O. Ozel, H. Alcik, A. Mert, and M. Gul, “Istanbul Earthquake Rapid Response and the Early Warning System,” pp. 157–158, 2003.
- [5] V. Grover and A. Sharma, “Prediction of Earthquake Using 3 Axis Accelerometer Sensor (ADXL335) and ARDUINO,” vol. 6, no. 9, pp. 2015–2018, 2017.
- [6] K. M. Hina and S. Kumari, “EARTHQUAKE DETECTOR,” pp. 175–177.
- [7] I. Setiawan, B. Setiyono, and T. B. Susilo, “Hasil Uji Kalibrasi Sensor Accelerometer,” pp. 118–122.
- [8] M. A. Adxl, M. Iwaniec, A. Holovatyy, V. Teslyuk, and M. Lobur, “Development of Vibration Spectrum Analyzer Using the Raspberry Pi Microcomputer and 3-Axis Digital,” 2017.
- [9] Analog Devices, “Digital Accelerometer Data Sheet,” p. 40, 2009, [Online]. Available: www.analog.com.
- [10] Analog Devices, “ADXL335 - Small, Low Power, 3-Axis ± 3 g Accelerometer,” 2010.

