

PERANCANGAN ALAT PENDETEKSI GEMPA MENGGUNAKAN SENSOR ACCELEROMETER DAN SENSOR GETAR

(DESIGN OF EARTHQUAKE SENSOR SYSTEM USING ACCELEROMETER AND VIBRACE SENSOR)

Cahya Kusuma Ardhi¹, Dr. MUHAMMAD ARY MURTI, S.T., M.T.², RAMDHAN NUGRAHA, S.PD., M.T.³

¹Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

²Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹Cahyakusuma97@gmail.com, ²Ary.murti@gmail.com, ³ramdhan@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan daerah rawan gempa baik gempa tektonik maupun gempa vulkanik. Terjadinya gempa tidak dapat di prediksi kejadiannya. Hal tersebut menyebabkan gempa dapat terjadi secara tiba-tiba pada zona gempa. Banyak korban jiwa yang tidak dapat menyelamatkan diri karena terjebak disuatu tempat atau minimnya pemberitahuan akan informasi gempa yang terjadi.

Dengan adanya kondisi ini penulis tertarik untuk membuat sebuah inovasi untuk menanggulangi masalah tersebut, dengan cara membuat sistem pendeteksi gempa menggunakan *sensor accelerometer dan vibration sensor*, untuk menangkap gerakan tanah/getaran tanah dan memberikan sebuah notifikasi kepada pengguna penduduk melalui aplikasi *Android* tepat pada saat gempa berlangsung. Sistem ini terdiri dari mikrokontroler *Arduino Uno*, sensor *accelerometer* dan sensor *getar*. Mikrokontroler *Arduino Uno* digunakan sebagai pengolah data yang di deteksi oleh sensor *accelerometer* dan sensor *getar*. Sensor *accelerometer* digunakan untuk mengetahui posisi atau keadaan tanah saat keadaan diam atau bergerak yang memiliki keluaran berupa nilai koordinat x, y, z. Sensor *getar* digunakan untuk mengetahui besar getaran yang bergetar pada tanah yang memiliki keluaran tegangan.

Parameter keberhasilan dari penelitian ini adalah mampu mendeteksi gempa bumi dan nilai yang dideteksi sesuai dengan nilai realtime dari pembacaan sensor yang diolah sesuai dengan data yang digunakan dalam British Geological Survey. Setelah beberapa pengujian dan analisis dari sensor Adxl 335 memiliki error rate pada 0,80% pada sumbu x, 0,30% pada sumbu y, dan 0,017% pada sumbu z. Sedangkan, dari sensor getar telah mendapatkan nilai tegangan sesuai porsi tekanan. Dari hasil yang diperoleh tersebut, dapat diketahui bahwa pembacaan data oleh sensor Adxl 335 menghasikan nilai yang hampir sama dengan accelerometer pada smartphone.

Kata kunci : *Gempa bumi, Accelerometer Adxl 335, sensor getar, Arduino Uno*

Abstract

Indonesia is an area prone to earthquakes both tectonic earthquakes and volcanic earthquakes. The occurrence of earthquakes can not be predicted in the event. This causes the earthquake to occur suddenly in the earthquake zone. Many casualties can not save themselves because they are trapped somewhere or the lack of notice of earthquake information that occurred. The most important thing in earthquake disaster is the speed of information received by the community from the earthquake detection system, given the earthquake disaster happened very quickly.

With this condition the author is interested to make an innovation to overcome the problem, by making earthquake detection system using accelerometer and vibration sensor, to capture ground motion or ground vibration and give a notification to resident user through Android app right at the time of earthquake. This system consists of Arduino Uno microcontroller, accelerometer sensor and vibration sensor. Arduino Uno microcontroller is used as a data processor that is detected by accelerometer sensor and vibration sensor. The accelerometer sensor is used to determine the position or state of the ground when a stationary or moving state has an output of coordinate values x, y, z. The vibration sensor is used to find out the magnitude of vibration vibrating on the ground that has a voltage output.

The success parameter of this research is able to detect earthquake and detected value according to the realtime value of sensor readings processed according to the formula used in real world. After some tests and analysis of the Adxl 335 sensor has an error rate at node A of 0,80% on the x-axis, 0,30% on the y-axis, 0.017% on the z axis. Whereas, from vibration sensor has get value of stress according to portion of pressure. From the results obtained, it can be seen that the reading of data by the sensor Adxl 335 menghasikan value almost equal to the accelerometer on the smartphone.

Keywords: Earthquake, Accelerometer Adxl 335, vibration sensor, Arduino Uno

1. Pendahuluan [10 pts/Bold]

Dari beberapa kejadian gempa bumi yang pernah terjadi, warga selalu terlambat untuk menyelamatkan diri atau melakukan evakuasi ke tempat yang aman. Hal ini disebabkan peringatan informasi gempa yang dikirimkan oleh BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika) tidak secara langsung memberikan peringatan langsung dari aktivitas gempa yang tercatat alat seismograph. Oleh karena itu, masyarakat tidak mengetahui langkah yang harus dilakukan pada saat terjadinya gempa. Hal ini menjadi penting untuk dikembangkan, mengingat bencana alam gempa bumi merupakan bencana alam yang cukup sering terjadi, dan terjadi pada kurun waktu yang begitu cepat, sehingga kesigapan dalam sistem deteksi gempa bumi sangatlah penting nilainya. Dalam Tugas Akhir ini sensor yang digunakan adalah sensor getar dan *accelerometer adxl 335* sebagai alat pengukur getaran gempa bumi dan pergerakan tanah. Setelah data telah didapatkan data getaran horizontal dan vertikal tersebut diolah sesuai dengan rumus British Geological Survey untuk mendapatkan satuan skala *richter*. Setelah data tersebut telah menjadi satuan skala *richter*, data tersebut tersebut disimpan ke dalam mikro dan akan ditransmisikan ke *server*. Tujuan dari tugas akhir dari sistem sensor gempa antara lain : Merancang sebuah Sistem Sensor Gempa yang menghasilkan hasil pembacaan sensor yang akurat, merancang sebuah Sistem Sensor Gempa yang memberi peringatan dini terkait terjadinya gempa bumi dan dapat menerapkan sesuai British Geological Survey pada sistem sensor gempa untuk mendapatkan hasil dalam skala *richter*. Adapun manfaat dari tugas akhir dari sistem sensor gempa antara lain : Sistem sensor gempa ini diharapkan dapat menciptakan sistem sensor gempa bumi yang lebih baik, murah, akurat dan mudah di implementasi dan Implementasi sistem sensor gempa bumi diharapkan dapat meminimalisasi korban jiwa gempa bumi.

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Pengenalan Gempa Bumi

Gempa Bumi adalah suatu peristiwa alam dimana terjadi getaran pada permukaan bumi akibat adanya pelepasan energy secara tiba-tiba dari pusat gempa. Energy yang dilepaskan tersebut merambat melalui tanah dalam bentuk gelombang getaran. Gelombang getaran yang sampai ke permukaan bumi disebut gempa bumi [1]. Menurut sumber terjadinya gempa, gempa dikelompokkan menjadi [2]: Gempa tektonik, Gempa vulkanik, Gempa longsor atau runtuh dan Gempa buatan.

2.1.1 Intensitas Gempa Bumi

Intensitas dapat dipersepsikan pada sebuah pengukuran non-instrumental dari suatu kerusakan struktur, efek permukaan tanah, retakan dan longsor, dan reaksi dari manusia terhadap guncangan gempa bumi. Skala Intensitas pertama kali diperkenalkan di Eropa oleh Rossi Forel (1883), yang terdiri dari 10 skala. Selanjutnya Skala Sieberg (1912, 1923) menjadi pondasi dari semua skala intensitas modern 12 tingkat.

M.Mf	Keterangan
I	Tidak terasa
II	Terasa oleh orang yang berada di bangunan tinggi
III	Getaran dirasakan seperti ada kereta yang berat melintas.
IV	Getaran dirasakan seperti ada benda berat yang menabrak dinding rumah, benda tergantung bergoyang.
V	Dapat dirasakan di luar rumah, hiasan dinding bergerak, benda kecil di atasrak mampu jatuh.
VI	Terasa oleh hampir semua orang, dinding rumah rusak.
VII	Dinding pagar yang tidak kuat pecah, orang tidak dapat berjalan/berdiri.
VIII	Bangunan yang tidak kuat akan mengalami kerusakan.
IX	Bangunan yang tidak kuat akan mengalami kerusakan tekuk.
X	Jembatan dan tangga rusak, terjadi tanah longsor. Rel kereta api bengkok.
XI	Rel kereta api rusak. Bendungan dan tanggul hancur. Seluruh bangunan hampir hancur dan terjadi longsor besar. Efek bencana yang lain seperti tsunami, dan kebakaran.
XII	Seluruh bangunan hancur lebur. Batu dan barang-barang terlempar ke udara. Tanah bergerak seperti gelombang. Kadang-kadang aliran sungai berubah. Pasir dan lumpur bergeser secara horizontal. Air dapat terlempar dari danau, sungai dan kanal. Dikuti dengan suara gemuruh yang besar. Biasanya bisanya menyebabkan longsor besar, kebakaran, banjir, tsunami di daerah pantai, dan aktivitas gunung berapi. Pasir dan tanah halus terlihat meledak.

Gambar 1. Satuan Ukuran Skala Modified Intensitas Mercalli [3]

2.1.2 Skala Richter

Terdapat beberapa cara dalam mengukur besarnya gempa bumi. Metode pertama yang dapat digunakan adalah skala Richter. Skala Richter dikembangkan oleh Charles F. Richter pada tahun 1934. Skala ini menggunakan rumus berdasarkan nilai amplitudo gelombang terbesar yang terekam pada jenis seismometer tertentu dan jarak antara gempa dan seismometer. Skala lain, berdasarkan nilai amplitudo gelombang dan durasi gempa total, dikembangkan untuk digunakan dalam situasi yang lain dan dirancang agar nilainya konsisten dengan skala Richter[4].

2.1.3 Sistem Sensor Gempa Bumi

Sistem sensor gempa bumi adalah sistem yang akan memberikan sebuah monitoring terhadap pergerakan bumi apabila terjadi gempa bumi. Sistem ini bisa memberitahukan orang untuk bersiaga untuk gempa berikutnya agar orang dapat menghentikan kendaraan atau fasilitas umum untuk sementara waktu, menuju ruang terbuka atau pemberitahuan terhadap kejadian yang terjadi di suatu daerah.

Penelitian yang pertama[5] adalah sistem sensor gempa bumi menggunakan jaringan sensor nirkabel. Pada sistem gempa bumi tersebut sensor diletakkan pada permukaan bumi. Saat gempa bumi terjadi, terdapat gelombang P dan gelombang S yang menjalar terdeteksi oleh sistem. Gelombang P atau gelombang primer adalah gelombang yang datang lebih dahulu dan terdeteksi oleh sensor. Gelombang P merupakan gelombang yang bergerak lebih cepat namun guncangan yang dihasilkan pada permukaan bumi lemah. Gelombang S atau gelombang sekunder merupakan gelombang paling kuat dan memberikan getaran yang lebih besar pada permukaan bumi namun bergerak lebih lambat. Saat sensor mendeteksi gelombang P, sistem akan langsung mengirimkan sinyal peringatan. Sensor yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah sensor *accelerometer*. *accelerometer* adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi getaran tanah dan mengirimkan sinyal pada mikrokontroler.

Penelitian kedua[6] adalah sistem pemantauan dan peringatan gempa bumi. Sensor pertama yang digunakan adalah piezoelectric. Sensor tersebut digunakan untuk memicu masing-masing node mengirimkan data pergerakan tanah dari *accelerometer* ADXL-345 dan dari *piezoelectric* ke koordinator. Data yang diterima koordinator langsung dikirimkan ke dalam PC menggunakan komunikasi serial. Data akan diolah menggunakan LABVIEW, jika terindikasi gempa bumi, sms peringatan akan langsung dikirim ke pengguna menggunakan sebuah modul GSM. *Piezoelectric* digunakan sebagai pemicu node sensor untuk mengirimkan sinyal saat terjadi gempa bumi yang membuat konsumsi daya pada perangkat lebih hemat. Sinyal yang dikirimkan ke koordinator berupa percepatan pergerakan tanah dari *accelerometer* dan *piezoelectric* serta nama node yang mengirimkan sinyal. Tujuan utama pada proyek ini adalah untuk mendeteksi gelombang P yang terdeteksi pada sumbu x dan y. Pada sumbu XY, nilai sumbu Z konstan sehingga tidak perlu dimasukkan ke dalam perhitungan. Nilai percepatan magnitude MR dapat dihitung menggunakan rumus

$$MR = \sqrt{x^2 + y^2} \dots \dots \dots (2.1)$$

x = nilai yang terbaca pada sumbu x
y = nilai yang terbaca pada sumbu y
MR = besarnya percepatan

No	Manitude Skala Richter	Percepatan
1	1	<0.017
2	2-3	0.017 - 0.14
3	4	0.14 - 0.39
4	5	0.39 - 0.92
5	6	0.92 - 1.8
6	7	1.8 - 3.4
7	8	3.4 - 6.5
8	9	6.5 - 12.4
9	10	>12.4

Gambar 2. Hubungan antara Magnitude Skala Richter dengan Percepatan

3. Perancangan Sistem

Pada bagian ini akan dibahas tentang perancangan perangkat keras dan perangkat lunak dari sistem

3.1. Pembahasan Desain Sistem

Desain sistem atau perancangan sistem adalah merancang atau mendesain suatu sistem yang baik, yang isinya adalah langkah-langkah operasi dalam proses pengolahan data dan prosedur untuk mendukung operasi sistem. Desain ini digunakan sebagai acuan gambaran umum sistem atau mendefinisikan cara kerja sistem secara singkat dan umum. Perancangan ini terdiri dari diagram blok serta fungsi dan fitur.

3.1.1 Diagram Blok Sistem

Pada sistem pendeteksi gempa bumi ini dirancang agar sistem dapat mengetahui getaran tanah dan pergerakan tanah pada saat terjadinya gempa bumi. Pada tugas akhir ini menggunakan sensor *accelerometer* adxl 335 dan sensor getar yang terhubung dengan mikrokontroler arduino sebagai controller, dan besaran skala richter dari gempa sebagai keluaran.. Diagram blok untuk perancangan ini secara garis besar ditunjukkan oleh gambar 3.



Gambar 3. Blok Diagram Umum Sistem

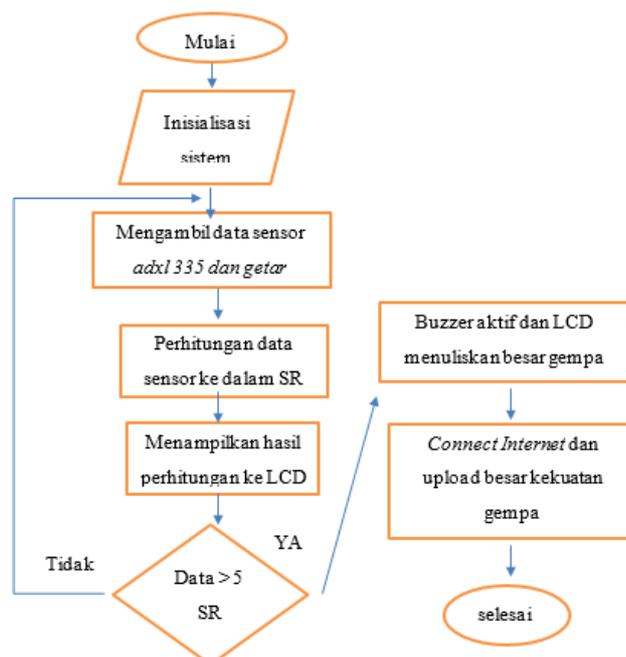
Pada gambar 3 menggambarkan diagram blok sistem. Semua sensor seperti sensor accelerometer dan sensor getar terhubung ke mikrokontroler Arduino Uno. Dan besaran skala richter akan ditampilkan dalam display jika terjadi getaran atau pergerakan tanah yang terbaca oleh sensor.

Komponen perangkat keras yang digunakan pada sistem ini terdiri dari sensor dan mikrokontroler. Berikut adalah komponen penyusun dari sistem tersebut:

1. Mikrokontroler : Arduino Uno
2. Sensor Accelerometer : Sensor Accelerometer Adxl 335
3. Sensor Getar : Sensor 801S Vibration

3.1.2 Desain Perangkat Lunak

Pada pembuatan tugas akhir ini digunakan *software* aplikasi untuk mengimplementasikan hasil perancangan ke dalam sistem. *Software* aplikasi yang digunakan adalah Arduino IDE. Arduino IDE digunakan untuk merancang dan memprogram mikrokontroler. Gambar 4 menunjukkan *flowchart* secara keseluruhan



Gambar 4. flow chart sistem

Pada gambar 4 Setelah sensor getar dan sensor *accelerometer* mendeteksi getaran dan pergerakan tanah,data tersebut akan diolah menggunakan rumus *British Geological Survey* untuk menjadi satuan Skala Richter. Setelah data sensor selesai diolah dan dihitung,lalu hasil data tersebut dibaca apakah alat tersebut mendeteksi adanya gempa atau tidak, jika alat tersebut mendeteksi maka buzzer akan aktif dan lcd akan menampilkan besar gempa, jika tidak maka alat akan membaca ulang data sensor.

3.1.3 Pengujian Sensitivitas Sensor Accelerometer

Karakteristik Sensor Percepatan ADXL335 Pengujian karakteristik sensor ADXL335 dilakukan dengan pengukuran tegangan keluaran pada kombinasi 3 axis X, Y, Z. yaitu pada X+ (axis X mendapatkan percepatan gravitasi positif 1 g), X- X- (axis X mendapatkan percepatan gravitasi negatif 1 g), Y+, Y-, Z+, dan Z-.

$$\mu = \frac{V_{out(+1g)} - V_{out(-1g)}}{2g} \dots \dots \dots (4,1)$$

dimana :

μ = Sensitivitas sensor (V/g),

$V_{out(+1g)}$ = Tegangan keluaran saat +1g (V)

$V_{out(-1g)}$ = Tegangan keluaran saat -1g (V)

Data yang dikumpulkan adalah sebanyak 10 data pada masing-masing kondisi. Grafik dari setiap kondisi ditunjukkan pada grafik berikut. Setiap grafik yang tertampil, axis X diwakili dengan warna biru, axis Y dengan warna orange, dan abu abu mewakili axis Z.

A. Pengujian sumbu X

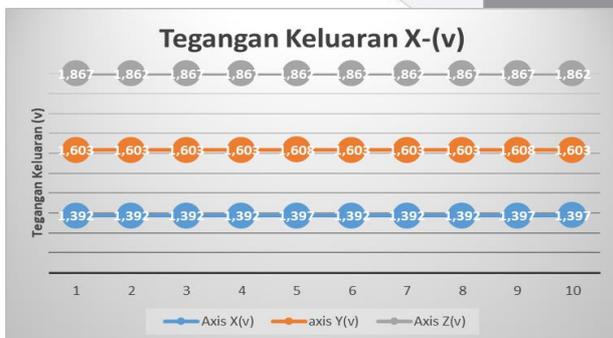
Pertama adalah kondisi X+ ditunjukkan dengan Gambar 5.



No	Tegangan keluaran kondisi X+ (V)		
	sumbu x	sumbu y	sumbu z
1	1,989	1,666	1,979
2	1,979	1,691	1,979
3	1,984	1,671	1,979
4	1,984	1,593	1,979
5	1,98	1,627	1,979
6	1,98	1,632	1,979
7	1,984	1,676	1,979
8	1,979	1,622	1,979
9	1,984	1,612	1,984
10	1,994	1,627	1,984
Rata-rata	1,984	1,641	1,980

Gambar 5 Tegangan Keluaran Sumbu X+

Kondisi yang kedua adalah kondisi X-,Ditunjukkan dengan Gambar 6.

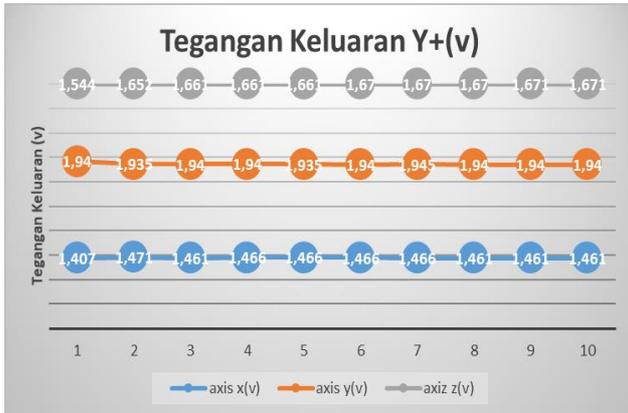


No	Tegangan keluaran kondisi X- (V)		
	sumbu x	sumbu y	sumbu z
1	1,392	1,603	1,867
2	1,392	1,603	1,862
3	1,392	1,603	1,867
4	1,392	1,603	1,867
5	1,397	1,608	1,862
6	1,392	1,603	1,862
7	1,392	1,603	1,862
8	1,392	1,603	1,867
9	1,397	1,608	1,867
10	1,397	1,603	1,862
Rata-rata	1,392	1,604	1,864

Gambar 6 Tegangan Keluaran Sumbu X-

B. Pengujian Sumbu Y

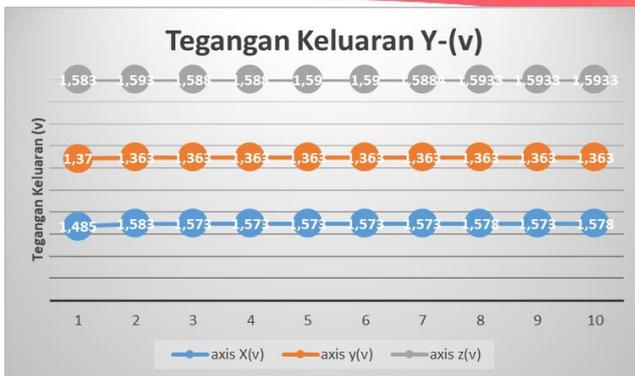
Kondisi ketiga adalah kondisi Y+ yang ditunjukkan pada Gambar 7



No	Tegangan keluaran kondisi Y+ (V)		
	sumbu x	sumbu y	sumbu z
1	1,407	1,94	1,544
2	1,471	1,935	1,652
3	1,461	1,94	1,661
4	1,466	1,94	1,661
5	1,466	1,935	1,661
6	1,466	1,94	1,67
7	1,466	1,945	1,67
8	1,461	1,94	1,67
9	1,461	1,94	1,671
10	1,461	1,94	1,671
Rata-rata	1,458	1,94	1,651

Gambar 7 Tegangan keluaran Y+

Kondisi keempat adalah kondisi Y- yang ditunjukkan pada Gambar 8



No	Tegangan keluaran kondisi Y- (V)		
	sumbu x	sumbu y	sumbu z
1	1,485	1,370	1,583
2	1,583	1,363	1,593
3	1,573	1,363	1,588
4	1,573	1,363	1,588
5	1,573	1,363	1,59
6	1,573	1,363	1,59
7	1,573	1,363	1,5884
8	1,578	1,363	1,5933
9	1,573	1,363	1,5933
10	1,578	1,363	1,5933
Rata-rata	1,566	1,363	1,590

Gambar 8 Tegangan keluaran Y-

C. Pengujian sumbu z

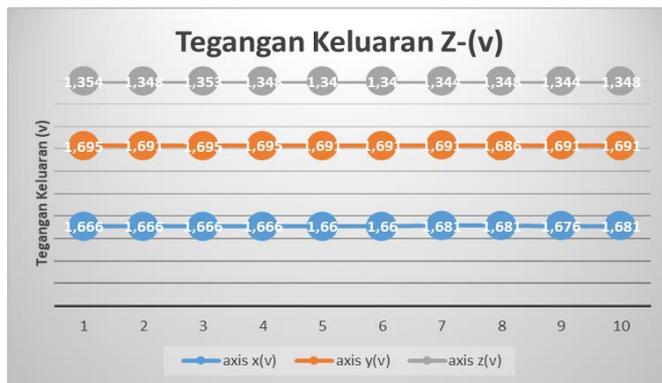
Kondisi Z+ ditunjukkan pada Gambar 9.



No	Tegangan keluaran kondisi Z+ (V)		
	sumbu x	sumbu y	sumbu z
1	1,705	1,656	2,003
2	1,705	1,676	2,013
3	1,676	1,661	2,008
4	1,647	1,627	2,008
5	1,66	1,661	2,008
6	1,66	1,656	2,008
7	1,637	1,656	2,013
8	1,647	1,652	2,008
9	1,652	1,656	2,003
10	1,642	1,642	2,003
Rata-rata	1,662	1,654	2,008

Gambar 9 Tegangan keluaran Z+

Kondisi Z- ditunjukkan pada Gambar 9



No	Tegangan keluaran kondisi Z- (V)		
	sumbu x	sumbu y	sumbu z
1	1,666	1,695	1,354
2	1,666	1,691	1,348
3	1,666	1,695	1,353
4	1,666	1,695	1,348
5	1,666	1,691	1,34
6	1,666	1,691	1,34
7	1,681	1,691	1,344
8	1,681	1,686	1,348
9	1,676	1,691	1,344
10	1,681	1,691	1,348
Rata-rata	1,670	1,691	1,348

Gambar 9 Tegangan Keluaran sumbu z-

Merujuk pada tabel 1 , dari hasil percobaan sumbu x,y,z pada saat X+,X-,Y+,Y-,Z+,Z- didapatkan hasil nilai keluaran tegangan dan diambil nilai rata rata dari masing masing sumbu. Kemudian, dari nilai rata rata tersebut dimasukkan kedalam persamaan (4.4). Setelah data tersebut selesai diolah, nilai hasil perhitungan tersebut dibandingkan dengan nilai sensitivitas datasheet tabel 2.

Tabel 1. Rata Rata nilai pada masing masing sumbu

Tabel 2. Hasil Perbandingan sensitivitas sensor

SENSITIVITAS MASING-MASING AXIS DARI PENGUJIAN				
No	Sumbu	Keluaran Tegangan (V)		$\mu = (V/g)$
		Saat (+1g)	Saat (-1g)	
1	sumbu x	1,984	1,392	0,296
2	sumbu y	1,94	1,363	0,2885
3	sumbu z	2,008	1,348	0,33

PERBANDINGAN SENSITIVITAS DATASHEET SENSOR DAN PENGUJIAN					
No	Sumbu	$\mu = (V/g)$ dari datasheet			$\mu = (V/g)$ Hasil pengujian
		min	typ	max	
1	sumbu x	0,27	0,3	0,33	0,296
2	sumbu y	0,27	0,3	0,33	0,2885
3	sumbu z	0,27	0,3	0,33	0,33

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, Sensitivitas sensor *Accelerometer* pada axis X adalah 0,296 V/g, axis Y adalah 0,2885 V/g, dan axis Z adalah 0,33 V/g. Semua nilai sensitivitas dari masing masing sumbu masih masuk ke dalam *range* sensitivitas *datasheet*. Oleh karena itu, sensor tersebut memiliki nilai sensitivitas yang bagus sesuai standar dari *datasheet* dan layak digunakan kedalam sistem.

3.1.4 Pengujian perbandingan Accelerometer Alat dengan Accelerometer Smartphone

Pengujian ini bertujuan untuk melihat selisih nilai dari hasil pembacaan sensor Adxl 335 dengan *Accelerometer* yang terdapat pada *smartphone*. Pengujian *Accelerometer* dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan yang didapat oleh sensor Adxl 335 dengan *Accelerometer* yang terdapat pada *smartphone*. Untuk mengetahui presentase nilai error maka digunakanlah rumus kesalahan relatif fraksional yaitu

$$\epsilon t = \frac{\text{Error Sebenarnya}}{\text{Nilai Terbaca}} \times 100\%$$

dimana :

ϵt :Error relatif nilai sebenarnya

Tabel 3 Perbandingan Nilai *Accelerometer Node A* dengan *Smartphone*

No	Sudut (°)	Sensor <i>Accelerometer</i>			Sensor <i>Accelerometer Hp</i>			Selisih Nilai			Presentase Nilai Error(%)		
		sumbu x	sumbu y	sumbu z	sumbu x	sumbu y	sumbu z	Sumbu x	sumbu y	sumbu z	Sumbu x	sumbu y	sumbu z
1	Sudut 0°	0,67	0,68	-0,98	0,26	0,24	-1,01	0,41	0,44	-0,03	0,61194	0,6471	0,030612
2	Sudut 15°	0,68	0,69	-0,95	0,2	0,34	-0,98	0,48	0,35	-0,03	0,70588	0,5072	0,031579
3	Sudut 30°	0,72	0,72	-0,93	0,16	0,44	-0,95	0,56	0,28	-0,02	0,77778	0,3889	0,021505
4	Sudut 45°	0,73	0,73	-0,71	0,12	0,62	-0,73	0,61	0,11	-0,02	0,83562	0,1507	0,028169
5	Sudut 60°	0,77	0,77	-0,58	0,10	0,72	-0,65	0,67	0,05	-0,07	0,87013	0,0649	0,12069
6	Sudut 75°	0,82	0,83	-0,45	0,08	0,77	-0,58	0,74	0,06	-0,13	0,90244	0,0723	0,288889
7	Sudut 90°	0,84	1,4	-0,1	0,06	0,99	-0,06	0,78	0,41	0,04	0,92857	0,2929	-0,4
Rata Rata selisih error =											0,80462	0,3034	0,017349

Berdasarkan Tabel IV.9 dapat diketahui bahwa rata rata selisih perbedaan nilai *accelerometer* yang didapatkan oleh sensor *adxl 335* pada node 1 dengan nilai *accelerometer* pada *smartphone* adalah 0,80% pada sumbu x, 0,30% pada sumbu y, dan 0,017% pada sumbu z. Berdasarkan hasil pembacaan tersebut nilai yang didapatkan pada *accelerometer adxl 335* dan *accelerometer smartphone* tersebut memiliki tingkat kepresisian yang cukup bagus. Hal ini berdasarkan dari nilai error yang <1%. Semakin kecil nilai error, maka semakin presisi pembacaan sensornya.

3.1.5 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hasil kinerja dari sistem keseluruhan setelah semua sensor selesai di kalibrasi. Sistem sensor gempa ini dikarakterisasi dengan menjatuhkan beban (1 kg, 2 kg, dan 3 kg) dengan jarak tumbukan beban ke pusat deteksi (0 cm, 15 cm dan 25 cm) dari sistem sensor tersebut. Kemudian dilihat hasil apakah buzzer atau tampilan kekuatan SR lcd aktif atau tidak.

Tabel 4 Kategori Gempa

Tabel kondisi				
No	Magnitude(SR)	Deskripsi	Mercalli Intensity	efek gempa bumi
1	Dibawah 2	<i>Micro</i>	I	tidak terasa
2	2.0-2.9 SR	<i>Minor</i>	I-II	tidak terasa, direkam alat
3	3.0-3.9 SR	<i>Minor</i>	III-IV	sering Sering terasa, tetapi tidak merusak bangunan
4	4.0-4.9 SR	Ringan	IV-V	Terasa sekali getarannya di dalam ruangan
5	5.0-5.9 SR	Sedang	VI-VII	Menyebabkan kerusakan pada bangunan yang lemah.
6	6.0-6.9 SR	Kuat	VIII-X	Menyebabkan kerusakan dalam range area 160 Km.
7	7.0-7.9 SR	<i>Major</i>	X Atau lebih besar	Menyebabkan kerusakan yang sangat serius pada area yang luas.
8	8.0-8.9 SR	<i>Great</i>	X Atau lebih besar	Menyebabkan kerusakan yang sangat serius dalam radius seratus kilometer wilayah gempa
9	9.0-9.9 SR	<i>Great</i>	X Atau lebih besar	Menyebabkan kehancuran dalam radius ribuan kilometer.

Berdasarkan Tabel 4 tersebut merupakan data tabel kondisi dari beberapa kategori gempa. Data tersebut dapat digunakan untuk kesimpulan dari hasil pembacaan sistem pada Tabel 5 pada saat mendeteksi sebuah getaran

No	Jarak (cm)	Massa Beban								
		1kg			2kg			3kg		
		kondisi buzzer	Display	Kesimpulan	kondisi buzzer	Display	Kesimpulan	kondisi buzzer	Display	Kesimpulan
1	0	bunyi	2,58 SR 956(4.67)	Gempa Minor	bunyi	4,73sr 1013(4.95)	Gempa Ringan	bunyi	5.11SR 1023 (5.00)	Gempa Sedang
2	15	tidak bunyi	0.84SR 415 (2.03)	bukan gempa	bunyi	3.53 sr 1023 (5.0)	Gempa Minor	bunyi	4.89 SR 1023 (5.0)	Gempa Ringan
3	25	tidak bunyi	1.1 SR 177 (0.38)	bukan gempa	tidak bunyi	1.49 sr 270(1.32)	Bukan Gempa	bunyi	2.53 SR 925 (4.52)	Gempa Minor

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa hasil pembacaan sistem tersebut dapat mendeteksi sebuah getaran, semakin jauh letak tumbukan maka akan mempengaruhi besar dari kekuatan getaran tersebut. Dari pengujian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa jika terjadi sebuah tumbukan dan terjadi sebuah getaran, getaran tersebut tidak pasti bahwa getaran tersebut terjadi gempa. Namun, jika sistem mendeteksi sebuah pergerakan dan mendeteksi adanya getaran tidak menutup kemungkinan bahwa hal tersebut adalah gempa

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sensitivitas sensor *Accelerometer* pada axis X adalah 0,296 V/g, axis Y adalah 0,2885 V/g, dan axis Z adalah 0,33 V/g. Semua nilai sensitivitas dari masing masing sumbu masih masuk ke dalam *range sensitivitas datasheet*.
2. Selisih perbedaan nilai *accelerometer* yang didapatkan oleh sensor adxl 335 dengan nilai *accelerometer* pada smartphone adalah 0,80% pada sumbu x, 0,30% pada sumbu y, dan 0,017% pada sumbu z. Perbedaan ini disebabkan oleh nilai resultan dari rangkaian sensor adxl 335.
3. Sensitivitas sensor 801S *vibration* memiliki sensitivitas yang bagus, Namun, sensor tersebut tidak memiliki standar untuk penentuan besar kecil dari sebuah getaran.
4. Sistem pendeteksi gempa bumi dan peringatan gempa bumi berjalan sesuai dengan data dari British Geological survey dan dapat memberikan peringatan ketika terjadi gempa bumi.

Daftar Pustaka:

- [1] Andyansah Mulia.(2015).MONITORING PENGUKURAN GETARAN GEMPA MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER 8535.2015
- [2] Fulki, Ahmad 2011. *Analisis Parameter Gempa, b Value dan PGA di Daerah Papua*. Tugas Akhir: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta
- [3] Rotlink. 2014. *Skala Mercalli*. (https://id.wikipedia.org/wiki/Skala_Mercalli). Diakses 5 oktober 2017
- [4] FRHNRMDZNN, "materi78.wordpress.com/2013/06/25/geografi-1/," 25 06 2013. [Online]. Available: https://materi78.files.wordpress.com/2013/06/gempa_geo1_3.pdf. Diakses 05 Juni 2018
- [5] Alphonso A., Rafi G., "Earthquake Early Warning System by IOT using Wireless Sensor Networks," presented at the IEEE WiSPNET 2016 conference, Chennai, India, 2016.
- [6] Rahinul Hoque, Shoaib Hassan, MD. Akter Sadaf, Asadullahil Galib, Tahia Fahrin Karim, "Earthquake Monitoring and Warning System," presented at Proceedings of 2015 3rd International Conference on Advances in Electrical Engineering, Dhaka, Bangladesh, 2015.