

SISTEM DETEKSI DINI GEMPA DENGAN PIEZO ELEKTRIK BERBASIS MIKROKONTROLER AT89C51

Muhammad Andang Novianta¹

¹Jurusan Teknik Elektro Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Kampus ISTA Jl. Kalisahak No. 28 Kompleks Balapan Yogyakarta
Telp 0274-563029, Fax 0274-563847,
Email: m_andang@akprind.ac.id

Abstrak

Indonesia termasuk daerah rawan bencana gempabumi karena Indonesia terletak di antara tiga lempeng tektonik yaitu di sebelah Barat Laut Lempeng Eurasia, di sebelah Selatan Lempeng Indo-Australia, dan di sebelah Timur Lempeng Pasifik. Pada tanggal 27 Mei 2006 terjadi gempabumi di Yogyakarta yang berkekuatan 5,9 SR menelan korban meninggal dunia sekitar 5.000 jiwa. Sebelumnya pada tanggal 26 Desember 2004 di Aceh juga terjadi gempabumi di laut yang memicu adanya tsunami menelan sekitar 200.000 korban jiwa dengan kekuatan gempa 9,3 SR. Hal ini terjadi karena belum ada alat yang bisa mendeteksi akan dan kapan terjadinya gempabumi atau sering disebut sistem peringatan dini (*early warning system*). Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat yang bisa mendeteksi akan terjadinya gempa sebagai sistem peringatan dini. Tahap pengujian dilaksanakan di studio laboratorium elektronika dengan parameter pengujian berupa gerakan ketukan dalam jarak yang berbeda-beda tetapi menggunakan beban yang sama untuk memvisualkan kondisi gempa. Secara prinsip sistem akan mendeteksi arah perambatan gelombang gempa dalam arah vertikal maupun horisontal, dengan mendeteksi adanya getaran yang datang pada sensor dengan taraf tertentu, sistem sensor pendeteksi gempa ini menggunakan piezo elektrik sebagai sensor untuk menghasilkan potensial listrik sebagai response terhadap tekanan mekanik yang diberikan serta mikrokontroler AT89C51 berfungsi sebagai otak dari sistem. Berdasarkan hasil pengujian sistem lengkap dapat diketahui bahwa sistem rangkaian masih cukup peka dalam mendeteksi getaran (uji) dari jarak 10cm sampai dengan 100cm. Hal ini ditunjukkan dengan nilai linieritas rangkaian dalam mendeteksi sinyal getaran sebesar $R^2=0,959$.

Kata kunci : Deteksi Gempa ; Piezo elektrik ; Mikrokontroler

Pendahuluan

Secara tektonik, kepulauan Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik dunia, yakni lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Di samping itu, terdapat banyak sesar-sesar aktif yang terletak pada badan pulau di pulau-pulau Indonesia. Konsekuensi dari tatanan yang demikian membuat wilayah kepulauan Indonesia menjadi daerah rawan gempabumi, bahkan rawan terhadap bencana tsunami. Pada tanggal 27 Mei 2006 pukul 05.55 WIB pagi terjadi gempabumi di Yogyakarta yang berkekuatan 5,9 SR menelan korban meninggal dunia sekitar 5.000 jiwa. Sebelumnya pada tanggal 26 Desember 2004 sekitar pukul 07.58 pagi di Aceh juga terjadi gempabumi di laut yang memicu adanya tsunami menelan sekitar 200.000 korban jiwa dengan kekuatan gempa 9,3 SR. Hal ini terjadi karena belum ada alat yang bisa mendeteksi akan dan kapan terjadinya gempabumi atau sering disebut sistem peringatan dini (*early warning system*). Saat ini sistem pemantauan gempabumi yang dilakukan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) hanya merekam gempabumi yang sedang atau telah terjadi sehingga sulit untuk menekan jatuhnya korban dan kerusakan akibat kurang siap siaga untuk menghadapi gempabumi. Oleh karena itu dibutuhkan alat yang bisa memberi sinyal akan terjadinya bencana gempabumi sehingga masyarakat bisa mengambil langkah-langkah untuk menghadapi bencana tersebut sebelum terjadi. Sehingga bisa menekan dan meminimalisir jatuhnya korban.

Permasalahan utama pada penelitian ini adalah bagaimana sensor getaran dapat mendeteksi adanya perambatan gelombang secara vertikal maupun horisontal dengan tingkatan tertentu kemudian diubah ke beda potensial listrik sebagai tanggapan terhadap tekanan mekanik.

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat alat rekayasa yang bisa mendeteksi akan terjadinya gempa dan interpretasi aplikasinya pada kondisi geologi di daerah rawan bencana gempabumi. Rekayasa alat dilakukan dari metode pengujian, bahan, desain dan sensitivitas terhadap perambatan gelombang yang datang ke sensor getar. Penelitian ini bermanfaat untuk membantu masyarakat untuk mengenali, menindai adanya gempa secara mudah dan sederhana. Lebih lanjut, tanggap gempa dapat digunakan sebagai langkah dini dalam mitigasi bencana di daerah rawan gempabumi.

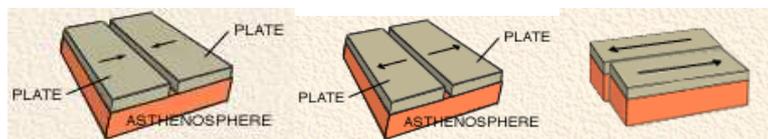
Benedictus B.S (2005), pemanfaatan pemakaian pegas dapat digunakan sebagai sebagai bagian dari sensor getaran yang cukup akurat selama bagian penguat sinyalnya memiliki faktor penguatan yang cukup dan harus mampu mereduksi sinyal secara interaktif.

Budi Susanto (2003), penggunaan *piezoelectric* sebagai sensor getaran menggunakan acuan desain sistem sensor getaran. Dalam desain sistem sensor getaran ini disebutkan bahwa bentuk fisik *piezoelectric* harus dimodifikasi ulang agar dapat digunakan sebagai sensor getaran karena kontruksi plat dan membran aslinya bersifat statis.

Darcy Karakelian at al. (2000), melakukan penelitian berupa pengamatan gelombang elektromagnet yang terjadi pada saat gempa utama (*main shock*) dan gempa kecil setelahnya. Gelombang elektromagnet (EM) yang muncul adalah gelombang pada frekwensi ultra rendah (ULF), yang diukur menggunakan sensor magnetometer tiga aksis (x,y,z). Hasil pengamatan menunjukkan adanya anomali gelombang EM ULF pada saat terjadi gempa di Loma Prieta, anomali yang terjadi menjadi fokus dalam penelitian ini yang bisa dipelajari relasi antara karakteristik gelombang EM dengan gempa yang terjadi. Dalam penelitian ini tidak dinyatakan bahwa karakteristik gelombang EM yang muncul bisa digunakan untuk peringatan terhadap kejadian gempa sesaat sebelumnya karena hanya melihat dampak saat gempa terjadi maupun setelahnya terhadap anomali gelombang EM.

O. Chavez at al. (2010), dengan observatorium geomagnetis di Juriquilla Mexico yang sudah beroperasi sejak 2004 menggunakan Magnetometer dengan tiga komponen *Fluxgate*, bertujuan untuk mencari hubungan antara karakteristik geomagnetis bumi terhadap aktifitas gempa selama periode 2007 hingga 2009. Dengan menggunakan Transformasi Diskrit Wavelet (*Wavelet Discrete Transform*) terhadap sinyal yang sudah disaring dari pengukuran tiga *fluxgate* magnetometer dan dibandingkan dengan kejadian gempabumi yang berkekuatan lebih dari 5,5 SR yang terjadi di Mexico, sehingga diperoleh korelasi waktu antara kejadian gempa dengan anomali geomagnetis disekitar episentrum. Anomali geomagnetis diamati dari fluktuasi medan magnet pada frekwensi ultra rendah (*Ultra Low Frequency*; 0.005 Hz – 1 Hz) untuk tiga aksis fluxgate (x,y,z), sehingga diketahui relasi antara anomali geomagnetis disekitar episentrum dengan tahapan terjadinya gempa.

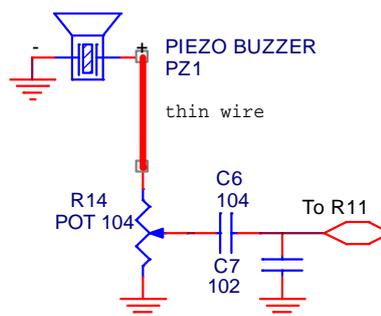
Lempeng tektonik yang merupakan bagian dari *litosfir* padat dan terapung di atas mantel ikut bergerak satu sama lainnya. Ada tiga kemungkinan pergerakan satu lempeng tektonik relatif terhadap lempeng lainnya seperti yang nampak pada Gambar 1, yaitu apabila kedua lempeng saling menjauhi (*spreading*), saling mendekati (*collision*) dan saling geser (*transform*). Umumnya, gerakan ini berlangsung lambat dan tidak dapat dirasakan oleh manusia namun terukur sebesar 0-15cm pertahun. Kadang-kadang, gerakan lempeng ini macet dan saling mengunci, sehingga terjadi pengumpulan energi yang berlangsung terus sampai pada suatu saat batuan pada lempeng tektonik tersebut tidak lagi kuat menahan gerakan tersebut sehingga terjadi pelepasan mendadak yang kita kenal sebagai gempa bumi.



Gambar 1. Arah Pergerakan Lempeng Tektonik
Sumber:

http://www.tfe.umu.se/courses/elektro/elmat1/v35_00_da/Hemuppgifter/quakesKJohansWLundgrMNorb.html

Sensor getar (*Vibrations Sensor*) merupakan sensor yang berfungsi untuk mendeteksi sinyal perambatan getaran gempa dalam arah gelombang horisontal maupun vertikal dan mengkonversi sinyal getaran yang terdeteksi menjadi besaran listrik analog. Untuk dapat bekerja dengan benar dalam mendeteksi getaran gempa bumi, *piezoelectric* PZ₁ memerlukan tegangan panjar yang dibentuk menggunakan potensiometer R₁₄. Dengan pengaturan ini, sinyal AC yang terdeteksi PZ₁ akan disalurkan ke R₁₁ di bagian signal amplifier melalui kapasitor C₆, sedangkan pemasangan kapasitor C₇ digunakan untuk mengurangi intensitas sinyal getaran yang mungkin mengganggu kualitas pendeteksian.

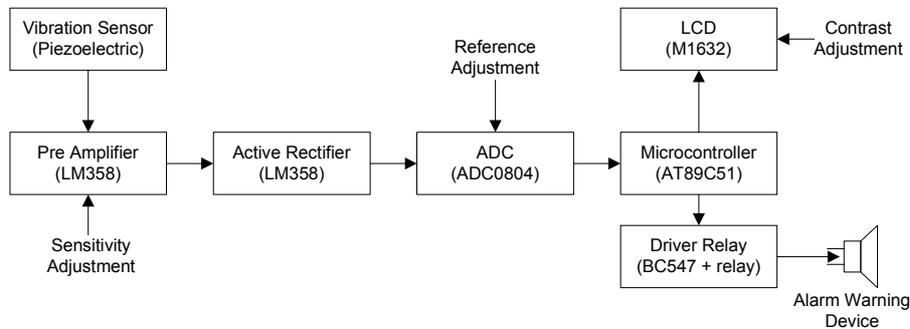


Gambar 2. Skematik Bagian *Vibrations Sensor*

Metode Penelitian

Pada dasarnya dalam rancangan sistem yang akan dilakukan merupakan disain *low cost* yang berorientasi pada disain sederhana tapi memiliki tingkat keakurasian tinggi, sehingga dibagi menjadi dua metode penelitian yaitu perangkat keras dan perangkat lunak.

Untuk perangkat keras yang dirancang merupakan bentuk rancang bangun aplikasi sensor getaran berbasis *piezoelectric* dan mikrokontroler AT89C51, konfigurasi penyusunan sistem seperti yang nampak pada Gambar 3.

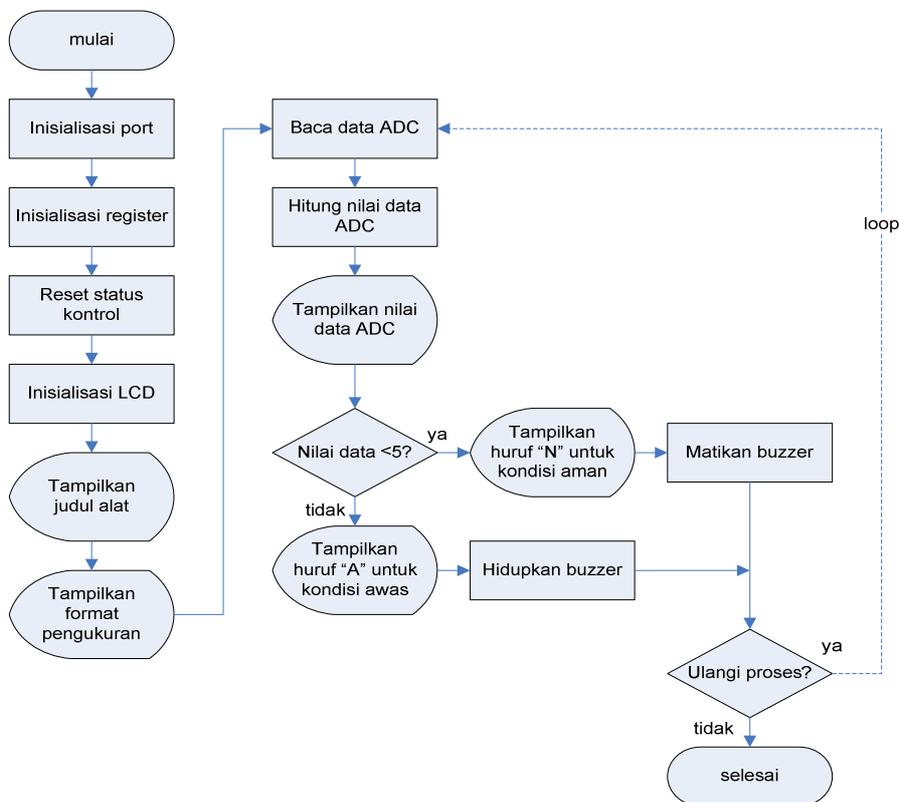


Gambar 3. Blok Diagram Alat

Cara kerja sistem merupakan bentuk aplikasi getaran gempa bumi berbasis *piezoelectric* dan mikrokontroler yang dilengkapi dengan penampil LCD. Secara prinsip sistem akan mendeteksi arah gelombang perambatan gempa bumi dalam arah vertikal maupun horisontal dan mengolah *level* sinyalnya untuk digunakan sebagai acuan penggerak alarm. Pada saat getaran gelombang gempa terdeteksi oleh bagian *vibration sensor*, bagian ini akan mengkonversi sinyal getaran tersebut menjadi sinyal listrik berlevel AC. Sinyal tersebut masih memiliki *level* yang sangat kecil sehingga perlu dikuatkan terlebih dahulu menggunakan bagian *signal amplifier*. Sinyal AC hasil penguatan bagian *signal amplifier*, kemudian dikuatkan dan disearahkan menjadi tegangan DC menggunakan bagian *buffer*. Tegangan DC hasil proses inilah yang diinisialisasi oleh saluran *input* bagian ADC sebagai *level* sinyal getaran gempa yang terdeteksi. Tegangan DC yang disalurkan ke bagian ADC untuk dikonversi menjadi data digital dalam format 8 bit. Data digital inilah yang diolah oleh bagian mikrokontroler dan ditampilkan nilainya ke LCD.

Diagram alir sebagai perangkat lunak yang digunakan untuk pengendalian sistem ini, nampak pada Gambar

4.

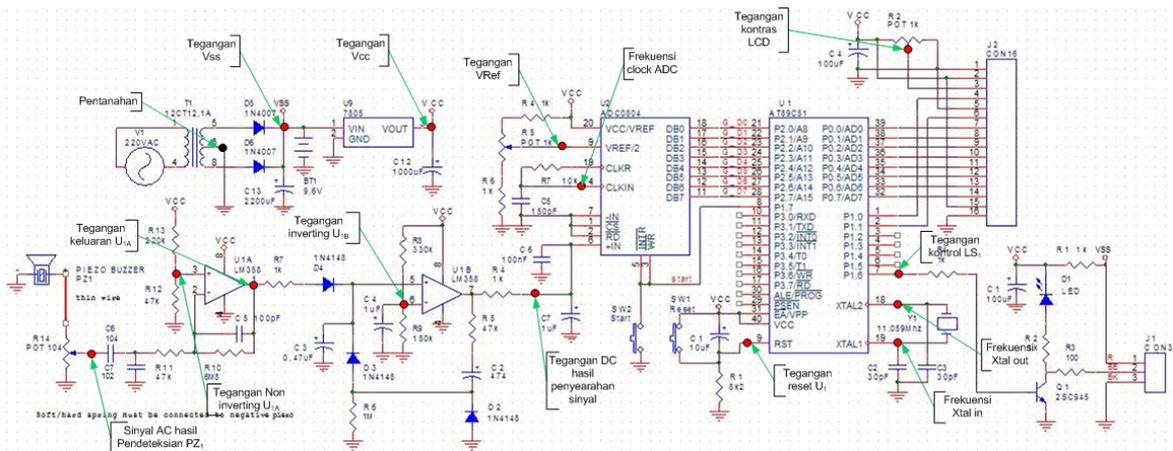


Gambar 4. Diagram Alir Sistem

Hasil dan Pembahasan

Tujuan pengambilan data adalah untuk mengetahui unjuk kerja rangkaian dan mengetahui kondisi komponen yang akan diuji. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian sesuai blok diagram aplikasi sensor getaran gempabumi berbasis *piezoelectric* dan mikrokontroler AT89C51. Sedangkan analisis data secara keseluruhan bertujuan untuk membandingkan hasil perhitungan dan hasil pengukuran dengan standar kerja komponen. Pengambilan data dilakukan di studio laboratorium elektronika dengan parameter pengujian berupa gerakan ketukan dalam jarak yang berbeda-beda tetapi menggunakan beban yang sama untuk memvisualkan kondisi gempa, alat bantu yang dipergunakan dalam pengambilan data antara lain multimeter digital FLUKE-75 dan Osiloskop UT25D.

Pengujian sistem secara parsial digunakan untuk mempermudah proses menganalisa sistem rangkaian alat. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian bagian *vibrations sensor*, *signal amplifier*, *buffer*, ADC, mikrokontroler, LCD dan *alarm warning device* (AWD). Titik-titik pengujian parsial nampak pada Gambar 5.



Gambar 5. Titik Pengujian Alat

• **Pengujian Bagian Vibrations Sensor**

Pengujian bagian *vibration* sensor digunakan untuk mengetahui karakteristik tegangan AC dari sinyal getaran hasil pendeteksian *piezoelectric* PZ₁. Hasil pengujian menggunakan multimeter ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Bagian *Vibrations Sensor*

No	Test point	Tegangan	Keterangan
1	PZ ₁ pin +	0,06Vac	Tanpa sinyal getaran
2	PZ ₁ pin +	0,34Vac	Dengan sinyal getaran

Dari hasil pengujian pada Tabel 1, nampak bahwa sinyal getaran memiliki karakteristik sinyal AC dengan amplitudo sinyal yang berubah sesuai intensitas dari getaran yang terdeteksi. Dengan mengkondisikan parameter pengujian sebagai parameter getaran gempa didapatkan hasil proyeksi sinyal sebesar 0,06Vac sampai dengan 0,34Vac dalam kurun waktu kurang dari 1 detik.

• **Pengujian Bagian Signal Amplifier**

Pengujian bagian *signal amplifier* digunakan untuk mengetahui karakteristik sinyal hasil penguatan transistor Q₁. Hasil pengujian menggunakan multimeter ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Bagian *Signal Amplifier*

No	Test point	Tegangan	Keterangan
1	Basis Q ₁	0,631Vdc	Tanpa sinyal getaran
2	Kolektor Q ₁	1,15Vdc	Tanpa sinyal getaran
3	Basis Q ₁	0,630Vdc	Dengan sinyal getaran
4	Kolektor Q ₁	1,10Vdc	Dengan sinyal getaran

Dari hasil pengujian Tabel 2, nampak bahwa transistor Q₁ terbukti mampu menguatkan sinyal AC keluaran bagian *vibration vensor* dengan faktor penguatan sebesar:

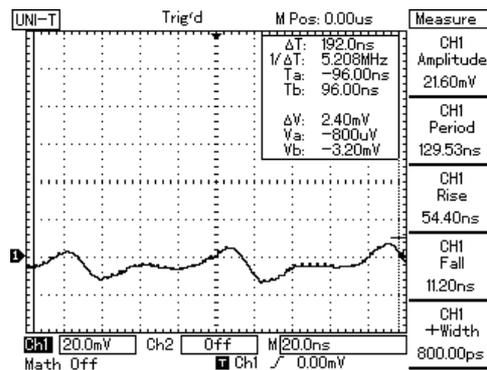
$$\begin{aligned}
 V_{in} &= \text{Tegangan sinyal di basis } Q_1 = 0,631Vdc \\
 V_{out} &= \text{tegangan sinyal di kolektor } Q_1 = 1,15 Vdc \\
 \text{Faktor penguatan} &= (V_{in}/V_{out}) = (0,631/1,15) = 0,548X
 \end{aligned}$$

• **Pengujian Bagian Buffer**

Pengujian bagian *buffer* digunakan untuk mengetahui karakteristik penguatan U_{4A} agar dapat menghasilkan sinyal berkarakteristik AC yang dapat disearahkan oleh rangkaian D_2 dan D_3 menjadi tegangan DC. Hasil pengujian menggunakan multimeter ditunjukkan pada Tabel 3, sedangkan bentuk sinyalnya ditunjukkan pada Gambar 6.

Tabel 3. Hasil Pengujian Bagian Buffer

No	Test point	Tegangan	Keterangan
1	U_{4A} pin 2	0,057Vac	Tanpa sinyal getaran
2	U_{4A} pin 3	0,003Vac	Tanpa sinyal getaran
3	Anoda D_2	0,1Vdc	Tanpa sinyal getaran
4	U_{4A} pin 2	0,55Vac	Dengan sinyal getaran
5	U_{4A} pin 3	0,003Vac	Dengan sinyal getaran
6	Anoda D_2	0,3Vdc	Dengan sinyal getaran



Gambar 6. Capture Test Point U_{4A} pin 2 Kondisi Dengan Sinyal Getaran

Dari hasil pengujian dalam Tabel 3, nampak bahwa tegangan U_{4A} pin 3 dipengaruhi oleh setting dari variabel resistor R_{10} . Sedangkan nilai tegangan U_{4A} pin 2 dipengaruhi oleh setting dari variabel resistor R_{12} . Dengan menggunakan parameter penguat *inverting*, maka faktor penguatan U_{4A} dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$A = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_A}{R_B}$$

Diketahui $R_A = R_{11} = 100k\Omega$, dan $R_B = R_{16} = 1M\Omega$, maka

$$A = -\frac{R_A}{R_B} = -\frac{100e^{+3}}{1e^{+6}} = -0,1$$

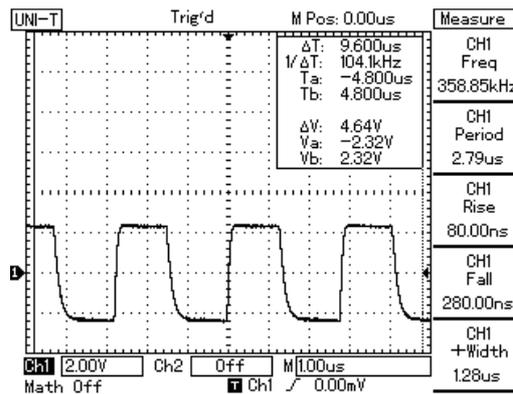
Dari hasil perhitungan diatas diketahui bahwa op-amp U_{4A} memiliki karakteristik penguatan sebesar 0,1 X. Tanda “-” menunjukkan bahwa intensitas sinyal *input* dan *output* U_{4A} memiliki beda phase sebesar 180^0 .

• **Pengujian Bagian ADC (Analog to Digital Conversion)**

Pengujian bagian ADC dilakukan untuk mengetahui tegangan kerja dan karakteristik konversi tegangan analog ke data digital pada saat digunakan untuk memantau tegangan DC keluaran bagian *buffer*. Konverter A/D harus mendapat perhatian lebih karena apabila dihubungkan ke V_{CC} secara langsung, maka nilai keluaran digital hasil *konversi* akan memiliki ketepatan sebesar 20mV untuk 1 bit kode LSB. Tetapi karena bagian *buffer* yang digunakan memiliki faktor penguatan sangat kecil (0,1 X), maka nilai data keluaran *konverter* ADC harus diatur agar memiliki *step size* yang lebih peka dan selinier mungkin agar dapat menghasilkan langkah per step yang lebih kecil pula. Dengan adanya faktor kebutuhan inilah, nilai tegangan $+V_{REF}$ *konverter* ADC perlu diatur agar setara dengan $\frac{1}{2} V_{CC}$. Hasil pengujian menggunakan multimeter ditunjukkan pada Tabel 4, sedangkan bentuk sinyalnya ditunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 4. Hasil Pengujian Bagian ADC

No	Test point	Tegangan	Keterangan
1	U_2 pin 9	2,48Vdc	$+V_{REF}$ ADC
2	U_2 pin 19	2,489Vdc	Sinyal clock ADC



Gambar 7. Capture Test Point U_2 pin 19

• **Pengujian Bagian Alarm Warning Device (AWD)**

Pengujian bagian *alarm warning device* digunakan untuk mengetahui kinerja dari *buzzer* LS_1 saat digunakan bersama mikrokontroler U_1 . Hasil pengujian menggunakan multimeter ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Bagian Alarm Warning Device

No	Test point	Tegangan	Keterangan
1	LS_1 pin 2	5Vdc	Buzzer LS_1 tidak aktif
2	LS_1 pin 2	0,6Vdc	Buzzer LS_1 aktif

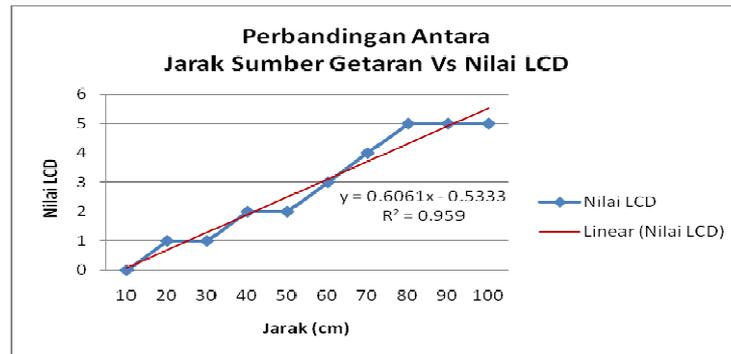
Dari hasil pengujian dalam Tabel 5, nampak bahwa pada saat pin 2 *buzzer* LS_1 mendapat status logika 1, maka *buzzer* akan berada dalam kondisi mati karena kedua pin-nya mendapat tegangan dengan potensial yang sama. Sedangkan pada saat pin 2 *buzzer* LS_1 mendapat status logika 0, maka *buzzer* akan berada dalam kondisi hidup karena kedua pin-nya mendapat tegangan dengan beda potensial hampir mendekati 5Vdc.

• **Pengujian Sistem Lengkap**

Pengujian sistem lengkap digunakan untuk mengetahui kemampuan atau kepekaan alat pada saat digunakan dalam pendeteksian getaran gempa bumi yang divisualisasikan menggunakan indikator di LCD dan aktifasi dari *buzzer* LS_1 . Dalam pengujian sistem secara lengkap ini digunakan parameter pengujian berupa gerakan ketukan dalam jarak yang berbeda-beda tetapi menggunakan beban dan jarak jatuhnya yang sama untuk memvisualisasikan kondisi gempa bumi. Langkah ini diambil karena untuk menunggu waktu pengambilan data yang tepat hampir tidak dimungkinkan dan kurang relevan (harus menunggu gempa). Hasil pengujian sistem secara lengkap ditabulasikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Sistem Lengkap

No	Jarak (cm)	Nilai LCD	Keterangan
1	10	0	Tidak terdeteksi, Buzzer LS_1 pasif
2	20	1	Terdeteksi, Buzzer LS_1 pasif
3	30	1	Terdeteksi, Buzzer LS_1 pasif
4	40	2	Terdeteksi, Buzzer LS_1 pasif
5	50	2	Terdeteksi, Buzzer LS_1 pasif
6	60	3	Terdeteksi, Buzzer LS_1 pasif
7	70	4	Terdeteksi, Buzzer LS_1 pasif
8	80	5	Terdeteksi, Buzzer LS_1 aktif
9	90	5	Terdeteksi, Buzzer LS_1 aktif
10	100	5	Terdeteksi, Buzzer LS_1 aktif



Gambar 8. Grafik Perbandingan Antara Nilai Jarak Getaran Vs Nilai LCD

• Analisis Data

Berdasarkan hasil pengujian parsial dapat diketahui bahwa sinyal getaran yang diterima oleh *piezo electric* dikuatkan oleh bagian *signal amplifier* dengan faktor penguatan 0,548X, sedangkan bagian *buffer* hanya memberikan faktor penguatan sebesar 0,1X dengan pembalikan phase sinyal sebesar 180° . Faktor penguatan yang cukup kecil dibagian *signal amplifier* dan *buffer* tersebut dimaksudkan agar rangkaian tidak berlebihan dalam menguatkan sinyal-sinyal getaran yang tidak terpakai (*false trigger*), tetapi cukup kuat untuk disalurkan sebagai sumber sinyal ke bagian ADC.

Dari hasil pengamatan bagian ADC dapat diketahui bahwa rangkaian dapat bekerja dengan benar dan dapat mengkonversi nilai sinyal yang cukup kecil menjadi sinyal digital 8 bit yang diperlukan oleh bagian mikrokontroler sebagai data getaran terinisialisasi. Dengan pengaturan tersebut diatas, bagian mikrokontroler dapat menampilkan nilai dari data 8 bit keluaran ADC dan digunakan sebagai acuan pengendalian *buzzer* atau AWD (*Alarm Warning Device*).

Berdasarkan hasil pengujian sistem lengkap dapat diketahui bahwa sistem rangkaian masih cukup peka dalam mendeteksi getaran (uji) dari jarak 10cm sampai dengan 100cm. Hal ini ditunjukkan dalam grafik Gambar 8, yang menyatakan bahwa nilai linieritas rangkaian dalam mendeteksi sinyal getaran memiliki nilai $R^2=0,959$. Berdasarkan hasil tersebut dapat dipastikan bahwa alat memiliki sifat pendeteksian getaran secara linier yang hampir sempurna (jika nilai *linieritas* $R^2=1$).

Hal penting yang patut menjadi perhatian dalam sistem peringatan dini gempa bumi menggunakan sensor getaran *piezoelectric* dan mikrokontroler AT98C51 terletak pada konstruksi beserta penempatannya. Dari hasil *try and error* dapat diketahui bahwa pemasangan per halus secara tegak lurus di permukaan *piezoelectric* akan berlaku seperti pendulum yang membantu dan meningkatkan kemampuan *piezoelectric* dalam mendeteksi gelombang getaran dari arah *omnidirectional* atau mencakup 360° dari posisi sensor dipasang. Berdasarkan prinsip kerja dari sensor getaran *piezoelectric* yang digunakan dalam perancangan alat dapat diketahui bahwa pendeteksian getaran gempa bumi secara elektronik harus memperhatikan beberapa faktor non elektronik seperti:

1. Kuat gravitasi di area terpantau.
2. Kuat getaran gempa bumi.
3. Panjang pegas yang digunakan bersama *piezoelectric* untuk pendeteksian getaran gempa bumi.
4. Simpangan maksimum dari pegas yang digunakan.
5. Faktor redaman elastisitas pegas.

Kesimpulan

Dalam perancangan dan pembuatan perangkat rekayasa yang bisa mendeteksi akan terjadinya gempa dan interpretasi aplikasinya pada kondisi geologi di daerah rawan bencana gempabumi. yang dijadikan sebagai bahan penelitian yang sudah dilakukan ini diperoleh beberapa kesimpulan yang bisa digunakan sebagai pertimbangan pengembangannya ke depan, yaitu antara lain:

- 1) Proses pendeteksian sinyal getaran dalam arah *vertikal* maupun arah *horisontal* dapat dideteksi menggunakan pegas yang terpasang di permukaan *piezoelectric*. Dengan metode ini, arah pendeteksian akan bersifat *omnidirectional* atau mencakup area 360° .
- 2) *Validitas* sinyal keluaran sensor getaran dapat diatur secara tepat selama faktor penguatan dari setiap penguat yang digunakan di dalam sistem memiliki faktor penguatan maksimal sebesar 1x dan harus memiliki rangkaian pengatur *level* sinyal. Dengan metode ini, keabsahan pendeteksian sinyal getaran akan dapat dipertahankan secara baik dan rangkaian alat dapat dengan mudah diatur faktor kepekaannya.
- 3) Sistem pendeteksi dini gempabumi berbasis *piezoelectric* dan mikrokontroler ini terbukti dapat digunakan untuk mendeteksi taraf getaran yang sangat kecil dan memvisualisasikan *level* sinyal gelombangnya melalui LCD.

Daftar Pustaka

- Benedictus B.S. (2005): *Gempabumi edisi populer*, Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG Jakarta.
- Budi Santoso. (2003): *Dasar-dasar Magnet dan Gayaberat Serta Beberapa Penerapannya*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI).
- Darcy Karakelian at al. (2000): *A Transportable System for Monitoring Ultra Low Frequency Electromagnetic Signals Associated with Earthquakes*, Seismological Research Letters Volume 71, Number 4, 423-436, July/August 2000.
- O. Chavez at al. (2010): *Detection of ULF geomagnetic signals associated with seismic events in Central Mexico using Discrete Wavelet Transform*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 2557–2564, 2010.