

## **RANCANG BANGUN SISTEM DETEKSI DINI GEMPABUMI BERDASARKAN FLUKTUASI MEDAN MAGNET MENGGUNAKAN SENSOR MEMS**

### *Early Detection System Design Based on Fluctuation Earthquake Using Magnetic Field Sensor MEMS*

**Muhammad Andang Novianta<sup>1\*</sup>, Emy Setyaningsih<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

<sup>2</sup>Jurusan Sistem Komputer Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta  
Kampus ISTA Jl. Kalisahak No. 28 Kompleks Balapan Yogyakarta

Telp 0274-563029, Fax 0274-563847,

\*Email address: m\_andang@akprind.ac.id

#### **ABSTRAK**

*Kepulauan Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik dunia dan banyak sesar-sesar aktif pada badan pulauanya sehingga rawan terhadap bahaya gempabumi. Saat ini sistem pemantauan gempabumi dilakukan oleh BMKG dengan menggunakan alat seismograf yang merekam gempabumi pada saat itu atau telah terjadi, akibatnya apabila terjadi gempabumi yang sangat besar masyarakat kurang siap siaga untuk menghadapi bencana tersebut. Pada artikel ini akan membahas tentang pengukuran dan perekaman suatu data karakteristik gempabumi berdasarkan fluktuasi medan magnet menggunakan sensor MEMS, kemudian data yang tersimpan pada perekam data dianalisa berdasarkan waktu setiap kejadian pengamatan (time stamp) untuk mengukur selang waktu (delay time) antara kejadian anomali medan magnet terhadap puncak getaran dengan magnitude terbesar. Uji coba perekam data dilakukan langsung di lapangan, yaitu memanfaatkan area yang memiliki aktifitas vulkanik. Kesimpulan dari penelitian untuk mendapatkan data getaran yang valid sesuai dengan teori Nyquist-Shannon maka pencuplikan data getaran dilakukan dengan frekuensi cuplik 2\*Frekuensi maksimal masukan, yaitu minimal 40Hz dengan transformasi FFT pada sensor accelerometer menunjukkan frekwensi rendah gempa ( $\leq 20\text{Hz}$ ) memiliki magnitude yang beragam dengan magnitude dominan pada frekwensi 5hz-10hz sedangkan pada sensor magnetometer menunjukkan frekwensi rendah gempa ( $\leq 66\text{Hz}$ ) memiliki magnitude yang beragam dengan magnitude dominan pada frekwensi 5hz-10hz, 25hz-40hz, dan 50hz-60hz.*

**Kata kunci:** Gempa bumi, Medan Magnet Bumi, Sensor MEMS

#### **ABSTRACT**

*The Indonesian islands located at the confluence of three tectonic plates of the world and many faults active on the island so that the body is prone to earthquake hazard. Currently earthquake monitoring system conducted by BMKG by using the tools that record earthquake seismograph at the time or has occurred, resulting in the event of a very large earthquake less community stands ready to face the disaster. In this article will discuss the measurement and recording of the data characteristics of earthquakes based fluctuating magnetic field using MEMS sensors, then the datalogger was analyzed based on the time of each occurrence of observation (time stamp) to measure the time interval (delay time) between the occurrence of anomalous fields magnet against vibration peak with the largest magnitude. The test data recorders carried out directly in the field, which use the area that has volcanic activity. The conclusion of the study to obtain the vibration data is valid according to the Nyquist-Shannon theory, the sampling is done with a frequency vibration with sampling data 2\*maximum input frequency of at least 40Hz, with FFT transform the accelerometer sensor showed low frequency earthquakes ( $\leq 20\text{Hz}$ ) have varying magnitude the magnitude of the dominant frequency of 5Hz-10Hz while the magnetometer sensor*

*showed low frequency earthquakes ( $\leq 66\text{Hz}$ ) has a magnitude that varies with the magnitude of the dominant frequency of 5Hz-10Hz, 25Hz-40Hz, and 50Hz-60Hz.*

**Key-word:** Earthquake, Earth's magnetic field, MEMS Sensors

## 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.

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.

Ada beberapa fenomena alam yang muncul sebelum gempabumi terjadi, antara lain: geomagnetik, gravitasi, infrasonik, ionosfer, dan sebagainya. Pada tahun 1975 China berhasil menyelamatkan ribuan nyawa di Haicheng dari gempabumi besar 7.3 SR dengan mengamati keanehan perilaku hewan di sekitar episentrum sebelumnya (**Tong, 1988**).

Data geomagnetik digunakan untuk mempelajari karakteristik gelombang elektromagnetik bumi pada frekwensi rendah (ULF – ultra low frequency). ULF geomagnetik umumnya digunakan oleh para peneliti sebagai indikator aktifitas kerak bumi saat terjadinya gempabumi (**Hattori, 2004**).

Permasalahan utama pada penelitian ini adalah bagaimana merancang dan menerapkan sistem monitoring gejala gempabumi dengan menggunakan metode pendeteksian fluktuasi medan magnet bumi. Data yang diperoleh dijadikan sebagai pembandingan terhadap data gempa yang terjadi pada kerangka waktu yang sama. Dan dibutuhkan alat yang bisa memberi peringatan dini adanya gempabumi secara

*realtime* berdasarkan hasil pengamatan dari fluktuasi medan magnet.

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat suatu alat perekam data gempabumi dengan mendeteksi fluktuasi medan magnet menggunakan tiga parameter pengukuran perubahan fluktuasi medan magnet antara lain, data getaran, data kuat medan magnet bumi, dan data waktu. Ketiga data dari sensor-sensor dapat disimpan (*logger*) pada media penyimpanan data hasil pengukuran yang selanjutnya dilakukan pemrosesan dan analisa data sinyal dengan tahapan penyaringan terhadap derau liar dari simpangan magnitudo menggunakan konsep tapis lolos rendah (*low pass filter*), kemudian dilakukan pemrosesan data digital frekwensi menggunakan metode *Fast Fourier Transformation* (FFT).

Terdapat beberapa kajian-kajian terkait yang sudah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya dengan hipotesis yang berbeda-beda pada setiap penelitian yang telah dilakukan. Pada dasarnya adanya diversifikasi penelitian yang masih dalam satu kaitan masalah merupakan sebuah mata rantai yang bisa menentukan kesempurnaan hasil sehingga terdapat wujud berupa sistem yang nyata dan bisa langsung diterapkan pada masyarakat.

Penelitian terhadap gejala gempa kebanyakan menggunakan teknik pemantauan dengan perangkat *tiltmeter* dan *borehole* untuk mengukur kenaikan *level* muka air tanah serta perilaku binatang. Beberapa penelitian sebelumnya mengenai gejala gempa adalah sebagai berikut:

- a) **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.

- b) **Joseph L. Kirschvink (2000)**, melakukan penelitian terhadap perilaku binatang dalam merespon gejala alamiah sebelum terjadi suatu gempa. Sebuah gempa tersusun dari dua gelombang, yaitu gelombang P dan gelombang S, dan pada beberapa hewan memiliki kemampuan untuk mendeteksi kedua jenis gelombang gempa tersebut. Dengan meneliti sikap, fisiologi sensor dan faktor gen dari seekor hewan yang terbukti mampu mendeteksi terjadinya gempa beberapa saat sebelumnya akan mampu memberikan sebuah metode peringatan dini terhadap bencana gempabumi.
- c) **Horng-Yuan Yen et al. (2004)**, pada 21 September 1999 (waktu lokal Taiwan), gempa besar terukur dengan kekuatan 7.3 SR terjadi di dekat kota Chi-Chi Pusat Taiwan. Sebelum hingga saat kejadian tersebut diperoleh data geomagnetis yang tersimpan pada alat perekam pada 8 titik stasiun pemantau yang merekam secara kontinyu fluktuasi medan magnet bumi, dan setelah dianalisa diperoleh informasi bahwa pada satu stasiun di daerah Liyutan sekitar 8 KM sebelah utara episentrum gempa (daerah Chelungpu) menunjukkan tingkat fluktuasi yang sangat signifikan selama lebih dari 1 bulan sebelum kejadian dan berhenti tepat pada saat gempa Chia-Yi pada 22 Oktober 1999. Fluktuasi medan magnet diketahui hingga 200 nTesla. Fluktuasi juga tercatat pada stasiun Tsengwen yang terletak pada 42 KM sebelah selatan Chelungpu dan 30 KM dari Chia-Yi. Sehingga dari penelitian yang dilakukan Horng-Yuan Yen et.al. disimpulkan bahwa fluktuasi medan magnet didekat episentrum ditimbulkan dari tegangan lempeng yang saling bertumbukan pada beberapa saat sebelum pelepasan energi berupa gempa terjadi.
- d) **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*; 0.005Hz – 1Hz) untuk tiga aksis *fluxgate* (x,y,z), sehingga diketahui relasi antara anomali geomagnetis disekitar episentrum dengan tahapan terjadinya gempa.

### **Kajian Gempa Bumi**

Gempabumi disebabkan oleh adanya pelepasan energi regangan elastis batuan pada litosfir. Semakin besar energi yang dilepas semakin kuat gempa yang terjadi. Terdapat dua teori yang menyatakan proses terjadinya atau asal mula gempa yaitu pergeseran sesar dan teori kekenyalan elastis.

Gempabumi didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan. Getaran pada bumi terjadi akibat dari adanya proses pergeseran secara tiba-tiba (*sudden slip*) pada kerak bumi. Pergeseran secara tiba-tiba terjadi karena adanya sumber gaya (*force*) sebagai penyebabnya, baik bersumber dari alam maupun dari bantuan manusia (*artificial earthquakes*). Selain disebabkan oleh *sudden slip*, getaran pada bumi juga bisa disebabkan oleh gejala lain yang sifatnya lebih halus atau berupa getaran kecil-kecil yang sulit dirasakan manusia

Para peneliti kebumihan berkesimpulan bahwa penyebab utama terjadinya gempabumi berawal dari adanya gaya pergerakan di dalam interior bumi (gaya konveksi mantel) yang menekan kerak bumi (*outer layer*) yang bersifat rapuh, sehingga ketika kerak bumi tidak lagi kuat dalam merespon gaya gerak dari dalam bumi tersebut maka akan membuat sesar dan menghasilkan gempabumi. Akibat gaya gerak dari dalam bumi ini maka kerak bumi telah terbagi-bagi menjadi beberapa fragmen yang

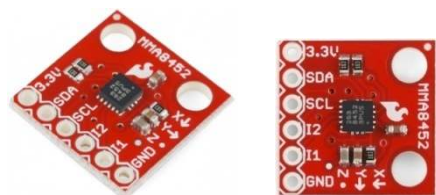
disebut lempeng (*Plate*). Gaya gerak penyebab gempabumi ini selanjutnya disebut gaya sumber tektonik (*tectonic source*).

Parameter getaran gelombang gempabumi yang dicatat oleh seismograf umumnya adalah simpangan kecepatan atau *velocity* dalam satuan kine (cm/dtk). Selain *velocity* tentunya parameter yang lain seperti *displacement* (simpangan dalam satuan mikrometer) dan percepatan (*acceleration* dalam satuan gal atau  $\text{cm/dt}^2$ ) juga bisa ditentukan parameter percepatan gelombang seismik atau sering disebut percepatan tanah merupakan salah satu parameter yang penting dalam seismologi teknik.

Untuk medan magnet diukur dengan alat seperti Magnetometer Proton, alat ini tergantung dari sifat dasar suatu inti atom. Elektron yang mengitari inti mempunyai sifat seperti arus listrik. Oleh karena itu setiap elektron yang berputar mempunyai medan magnet dan bekerja sebagai magnet kecil. Kejadian bencana alam tidak bisa dicegah dan ditentukan kapan dan dimana lokasinya, akan tetapi pencegahan jatuhnya korban akibat bencana ini bisa dilakukan bila terdapat cukup pengetahuan mengenai sifat-sifat bencana tersebut.

### Kajian Sensor Accelometer

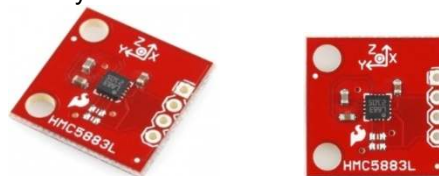
Sensor yang digunakan untuk mengukur getaran berdasarkan nilai percepatan gravitasi bumi yang diterima oleh sensor. Jenis sensor ini adalah jenis semikonduktor, terdiri dari 3-axis pengukuran yaitu: aksis-X,Y,Z. Sehingga bisa digunakan untuk mengamati getaran (*seismic*) dengan frekwensi  $> 1$  Hz dari segala sumbu. Satuan ukur sensor ini adalah g (gaya gravitasi) dimana akan bernilai 1g tatkala benda diam tegak lurus terhadap pusat bumi. Nilai positif menunjukkan adanya percepatan melawan gravitasi, dan nilai negatif menunjukkan percepatan benda jatuh (searah dengan vektor gravitasi).



Gambar 1. Sensor Accelerometer 3-axis MMA8452

### Kajian Sensor Magnetometer

Sensor yang digunakan untuk mengukur besar medan magnet bumi. Jenis sensor ini adalah jenis semikonduktor, terdiri dari 3-axis pengukuran yaitu: aksis-X,Y,Z. Sehingga bisa digunakan untuk mengamati medan magnet bumi dengan frekwensi  $> 1$  Hz dari segala sumbu. Pada prinsipnya terdapat material yang peka terhadap vektor fluks magnet bumi yang membujur antara utara-selatan. Aksis sensor yang terpapar vektor tersebut secara tegak lurus akan menghasilkan keluaran pengukuran yang paling besar, umumnya dinyatakan dalam satuan Tesla (nT atau mT). Untuk mendeteksi anomali defleksi medan magnet bumi, sensor ini bersifat lokal. Artinya harus ditempatkan sedekat mungkin dengan sumber yang memicu terjadinya anomali, jika tidak maka akan sulit mendeteksi terjadinya anomali defleksi medan magnet bumi pada suatu wilayah tertentu.



Gambar 2. Sensor Magnetometer 3-axis HMC5883L

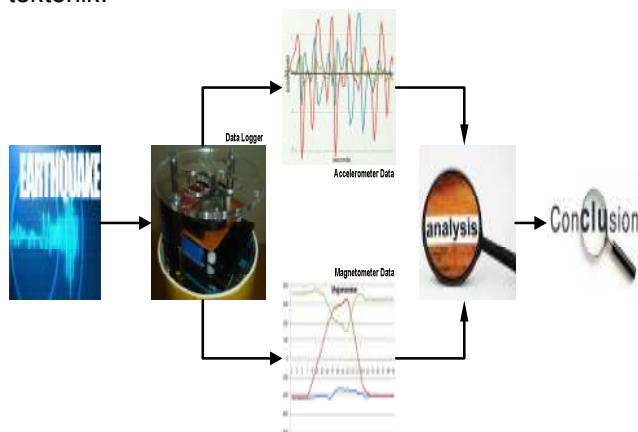
### METODE PENELITIAN

Untuk mendapatkan data getaran (*seismic*) dan medan magnet bumi disekitar lokasi sumber gempa (*epicenter*) secara akurat oleh perangkat perekam data khusus. Kemudian data yang tersimpan pada perekam data dianalisa berdasarkan waktu setiap kejadian pengamatan (*time stamp*) untuk mengukur selang waktu (*delay time*) antara kejadian anomali medan magnet terhadap puncak getaran dengan magnitude terbesar. Anomali medan magnet bersifat linier terhadap magnitude getaran gempa. Semakin kuat anomali medan magnet maka semakin kuat potensi gempa yang akan terjadi.

Untuk menentukan hubungan antara terjadinya anomali medan magnet dengan terjadinya gempa setelahnya digunakan metode korelasi. Semakin banyak data *delay time* antar kejadian maka semakin mudah untuk menentukan nilai korelasi antara dua kejadian tersebut. Nilai korelasi ini akan memberikan alasan bahwa hipotesis penelitian ini sudah terbukti benar. Namun untuk mendapatkan data yang banyak secara

alamiah mengalami kendala yang berarti yaitu sulitnya diprediksi kejadian gempa dalam 1 tahun. Solusi pengujian yang paling gampang adalah dengan memanfaatkan peristiwa gempa dari aktifitas vulkanik, salah satu contohnya gunung merapi di Jawa Tengah/DIY.

Terdapat 2 jenis data masukan yang ingin digali dari fenomena gempa bumi, yaitu: data anomali medan magnet dan data getaran gempa baik vulkanik maupun tektonik.



**Gambar 3. Alur pemantau gempa bumi standalone**

#### Metode pemrosesan dan analisa data

Pengolahan data terdiri dari 2 proses, yaitu tahap penapisan dan tahap transformasi dari domain waktu ke domain frekwensi.

- Tahap penapisan menggunakan jenis tapis Low Pass Filter (LPF) dengan cut off frequency sebesar 20Hz, baik untuk data getaran maupun medan magnet. Alasan penggunaan LPF adalah untuk menghilangkan unsur frekwensi tinggi di atas 20Hz, dimana frekwensi tersebut adalah batas frekwensi maksimal dari getaran gempa bumi.
- Tahap transformasi bertujuan untuk mengubah domain pengamatan data hasil perekaman dari kawasan waktu (t) ke kawasan frekwensi (f). Sehingga akan memudahkan peneliti dalam mempelajari karakteristik dari data yang sedang diamati. Transformasi menggunakan metode Fourier yang dikenal dengan *Fast Fourier Transform* (FFT) yang akan mengurai sinyal perekaman berdasarkan frekwensi dan magnitudenya. Dengan jarak episentrum gempa yang terprediksi maka mudah untuk diteliti karakteristik sinyal hasil perekaman berdasarkan informasi dari hasil transformasi FFT nya.

#### Rancangan sistem perangkat perekam gempabumi

Komponen penyusun utama penelitian ini adalah berupa perekam data yang akan mengumpulkan data-data secara akurat berdasarkan waktu dengan kapasitas memori penyimpanan yang sangat besar. Seperti yang disebutkan sebelumnya bahwa terdapat 3 jenis data yang diperoleh, yaitu: data getaran diukur menggunakan sensor *accelerometer* 3-axis, data kuat medan magnet bumi diukur menggunakan sensor magnetometer 3-axis, dan data waktu (dd/MM/yy hh:mm:ss) diukur menggunakan piranti RTC (*real time clock*) akurasi tinggi, sedangkan sebagai parameter pengukuran yang akan dipantau, yaitu kuat medan magnet bumi dilokasi stasiun pantau dalam satuan nano Tesla (nT).

Adapun perancangan alat perekam data gempabumi memiliki spesifikasi rancangan sebagai berikut:

- a) Menggunakan Sensor Accelerometer 3-axis MMA8452, sensor ini digunakan untuk mengukur getaran berdasarkan nilai percepatan gravitasi bumi yang diterima oleh sensor.
- b) Menggunakan Sensor Magnetometer 3-axis HMC5883L, aksis sensor yang terpapar vektor pada sensor secara tegak lurus akan menghasilkan keluaran pengukuran yang paling besar, umumnya dinyatakan dalam satuan nano Tesla (nT atau mT).
- c) Menggunakan piranti RTC (*Real Time Clock*) yang akurat dengan catu daya ganda, sehingga informasi waktu akan selalu terjaga.
- d) Menggunakan pengendali berbasis *platform* Arduino dengan mikrokontroler ATmega328 karena memiliki beberapa fasilitas yang sudah mencukupi untuk operasional perekam data
- e) Untuk penyimpanan data hasil pengukuran menggunakan memori MMC/SD yang memiliki kapasitas data hingga 32GByte dan kecepatan tulis yang tinggi (>100Hz). Hal ini untuk memberikan keuntungan pada perekam data yang menggunakannya, karena semakin cepat proses penyimpanan maka perekam data mampu mendapatkan data yang besar dalam satu satuan waktu tertentu, serta mampu mendapatkan data resolusi tinggi dengan kapasitas yang besar.

- f) Menggunakan metode *powersave*, sehingga akan lebih menghemat daya agar *lifetime* baterai lebih lama.
- g) Menggunakan catu daya dari *power bank* yang digunakan menggunakan jenis baterai Lithium Polymer (LiPo) dengan kapasitas 6000mAh.

yang lama. Proteksi diterapkan untuk mencegah kerusakan perekam data oleh faktor eksternal, antara lain: benturan langsung, air, dan debu. Pada Gambar 6, diperlihatkan bentuk perekam data secara utuh dengan tempat pelindung dan sistem elektronik di dalamnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

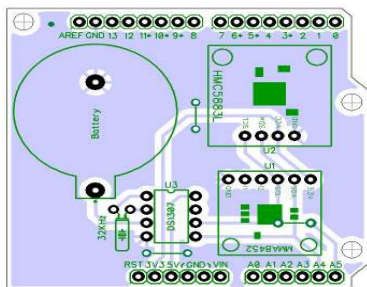
### Implementasi alat

Dengan menggunakan konsep Arduino memungkinkan untuk melakukan integrasi keseluruhan sistem dalam bentuk tumpukan (*stacking*) sehingga lebih sederhana dan mudah untuk perakitan sistem perekam data. Dengan metode *stacking* akan membuat dimensi bisa lebih ramping, seperti nampak pada Gambar 4.

Elektronik perekam data terdiri dari 3 *stack*, yaitu *board* pengendali utama, *board* memori SD/MMC, dan *board* sensor. Pada *board* sensor terintegrasi juga piranti RTC (*real time clock*). Disain *board* sensor dirancang sedemikian rupa sehingga tidak terganggu dengan keberadaan piranti lain selama proses pembacaan atau pengukuran. Pada Gambar 5, adalah rancangan *shield* sensor dan RTC untuk perekam data.



Gambar 4. Perekam Data Elektronik



Gambar 5. Layout Shield Sensor & RTC

Untuk pemasangan dilapangan dibutuhkan tempat yang akan melindungi sistem elektronik perekam data dalam kurun



Gambar 6. Hasil Perancangan Peralatan Unit Pemantau Perekam Data

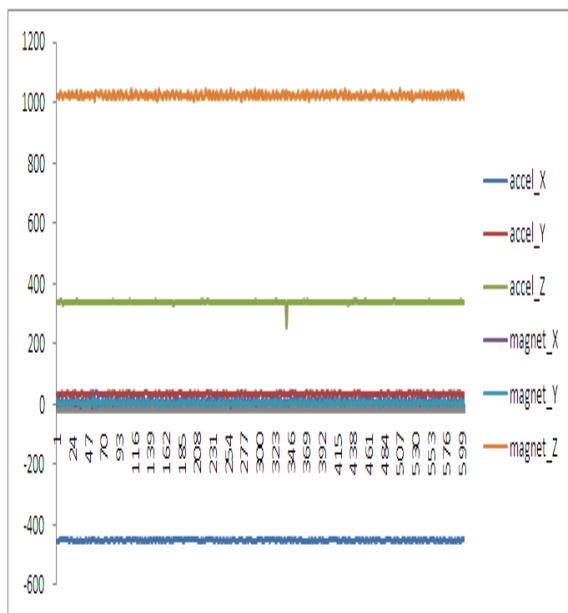
Sistem elektronik terjaga di dalam pipa PVC yang tidak mempengaruhi respon sensor, terutama sensor *magnetic* dan memiliki kekuatan untuk menjaga dari faktor luar yang bisa merusak sistem. *Power bank* yang digunakan menggunakan jenis baterai Lithium Polymer (LiPo) dengan kapasitas 6000mAh, sedangkan konsumsi keseluruhan sistem elektronik perekam data sekitar 20mA, sehingga jika diasumsikan hanya 50% dari kapasitas *power bank* yang bisa dipakai maka bisa dihitung *life time* catu daya perekam data,

### Hasil Pengujian Alat

Pengujian ini bertujuan untuk mengamati kinerja sensor apakah memiliki kesalahan dalam membaca besaran masukan baik getaran maupun medan magnet. Pada pengujian yang lain yaitu pengujian terpadu antara sensor accelerometer dengan sensor medan magnet untuk mengukur masing-masing besaran pada kondisi normal (tidak ada gangguan).

Dari hasil percobaan yang ditunjukkan oleh Gambar 7, diatur untuk memantau kondisi yang normal, artinya tidak ada *input* baik getaran maupun medan magnet yang muncul. Secara normal garis grafik akan menunjukkan model lurus, jika terjadi penunjukkan model yang tidak lurus maka

artinya ada kesalahan kerja pada sistem perekam data, entah sensor atau kesalahan pembacaan hasil pengukuran oleh pengendali utama.



**Gambar 7. Hasil Pengujian Terpadu Respon Sensor Pada Kondisi Normal**

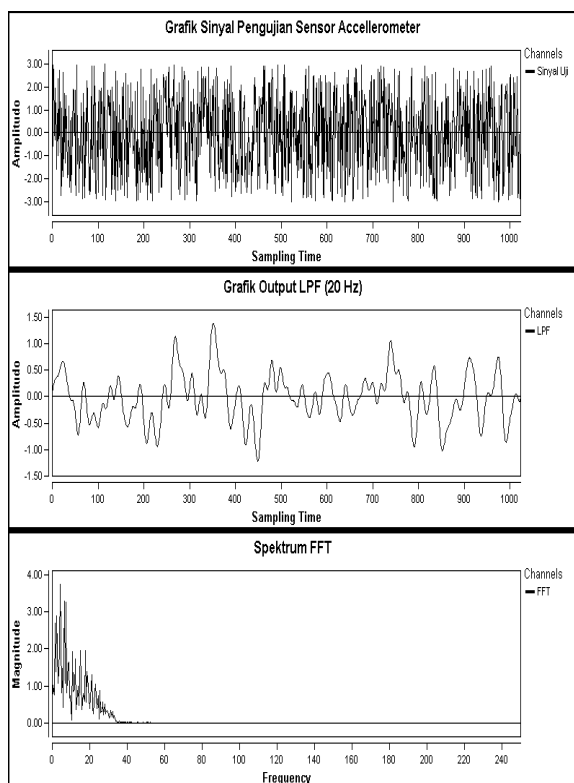
Uji coba perekam data akan dilakukan langsung di lapangan, yaitu memanfaatkan area yang memiliki aktifitas vulkanik. Pada penelitian ini perekam data dipasang di punggung dari Gunung Merapi – Jawa Tengah yaitu di sisi utara pada ketinggian sekitar 2550 mdpl (meter di atas permukaan laut). Pemilihan titik lokasi tersebut berdasarkan beberapa faktor, yaitu faktor estimasi jarak terdekat dengan epicenter aktifitas vulkanik, faktor lokasi yang tidak berbatu, dan faktor kemudahan instalasi perekam data sehingga aman saat pemasangan (*deploy*) maupun pengambilan oleh tim. Gambar 8, menunjukkan posisi koordinat peralatan yang ditanam pada tanah.



**Gambar 8. Koordinat Lokasi Instalasi Perekam Data**

#### **Pemrosesan Data Accelerometer**

Data accelerometer digunakan untuk melihat karakteristik aktifitas seismik. Pada pengamatan ini lebih cenderung ditujukan untuk mengamati frekwensi getaran dari pada amplitudonya. Karena indikasi kejadian gempa dilihat dari adanya sinyal aktifitas seismik berapapun amplitudonya. Pada Gambar 9 nampak hasil pengujian dan pengamatan seismik menggunakan sensor accelerometer.



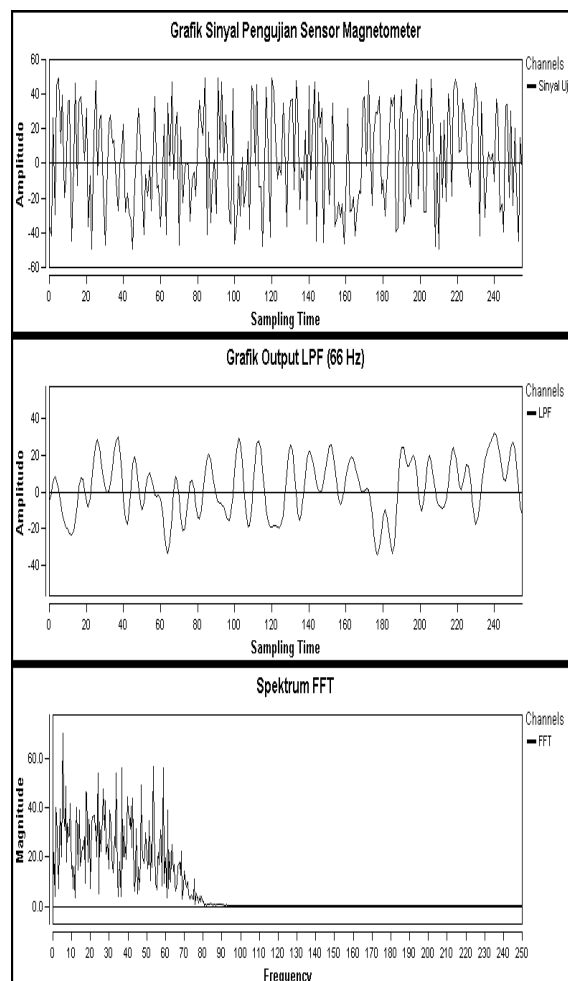
**Gambar 9. Grafik Hasil Pengamatan Sensor Accelerometer**

Pada pengamatan ini terlihat tiga bagian. Bagian pertama menunjukkan sinyal komposit hasil perekaman sensor accelerometer pada saat ada kejadian gempa, bagian kedua menunjukkan hasil penapisan LPF 20Hz, dan bagian ketiga menunjukkan komponen frekwensi yang terkandung pada sinyal hasil perekaman. Hasil penapisan menunjukkan sinyal getaran murni yang sudah tidak mengandung komponen frekwensi tinggi. Keberadaan komponen frekwensi tinggi disebabkan beberapa hal, antara lain karena adanya resonansi di sekitar lokasi pemasangan (terkait dengan jenis tanah atau batuan) terhadap frekwensi tinggi tertentu yang mengikuti getaran utama gempa.

### Pemrosesan Data Magnetometer

Data magnetometer digunakan untuk melihat terjadinya anomali medan magnet di sekitar episentrum gempa, sebelum/saat/setelah terjadi gempa. Gempa terjadi karena ada aktifitas bumi baik vulkanik maupun tektonik yang mempengaruhi garis medan magnet bumi secara lokal, dengan menempatkan sensor sedekat mungkin dengan lokasi prediksi episentrum maka anomali tersebut akan bisa terdeteksi. Sama seperti sensor accelerometer, sensor

magnetometer menggunakan jenis MEMS untuk 3-aksis (x, y, dan z) dengan kepekaan 2miligauss untuk skala ukur  $\pm 8$ gauss. Dengan kepekaan tersebut akan mampu mendeteksi perubahan kecil dari garis medan magnet bumi di sekitar episentrum. Amplitudo dan frekwensi fluktuasi medan magnet tidak terkait langsung dengan amplitudo dan frekwensi getaran, karena yang menentukan karakteristik fluktuasi medan magnet adalah aktifitas termal yang ada di dalam bumi dan belum tentu linier terhadap aktifitas gempa bumi. Sehingga harus dilakukan pengamatan yang membutuhkan waktu relatif lama untuk mendapatkan kesimpulan korelasi yang pasti antara fluktuasi medan magnet dan kejadian gempa bumi. Pada Gambar 10 ditampilkan hasil pengujian dan pengamatan fluktuasi medan magnet lokal menggunakan sensor magnetometer.



**Gambar 10. Grafik Hasil Pengamatan Sensor Magnetometer**

Hampir sama seperti pada pengujian atau pengamatan sensor accelerometer, pada pengamatan ini terlihat tiga bagian. Bagian pertama menunjukkan sinyal komposit hasil perekaman sensor magnetometer, bagian kedua menunjukkan hasil penapisan LPF 66Hz, dan bagian ketiga menunjukkan komponen frekwensi yang terkandung pada sinyal hasil perekaman. Keberadaan komponen frekwensi tinggi disebabkan beberapa hal, antara lain asumsi adanya aktifitas termal bumi yang bersifat acak di seluruh wilayah episentrum, maupun kesalahan sensor karena sangat sensitif terhadap perubahan medan magnet yang bersifat lokal.

## KESIMPULAN

- a) Frekuensi getaran gempa bumi umumnya berkisar  $< 20\text{Hz}$ , sehingga untuk mendapatkan data getaran yang valid sesuai dengan teori Nyquist-Shannon maka pencuplikan data getaran dilakukan dengan frekuensi cuplik  $2 \times \text{Frekuensi maksimal input}$ , yaitu minimal  $40\text{Hz}$ .
- b) Dari percobaan yang dilakukan dengan frekuensi pencuplikan  $66\text{Hz}$  diperoleh kapasitas data sekitar  $280\text{MByte}$  per hari, sehingga dengan memori yang berkapasitas  $4\text{Gbyte}$  akan penuh dalam 14 hari. Semakin rendah pesat pencuplikan data maka semakin lama memori akan terpakai, dan sebaliknya.
- c) Dengan menggunakan *power bank* berkapasitas  $6000\text{mAH}$  diperoleh *life time* baterai kurang lebih 6 hari. Nilai *life time* baterai bisa diperpanjang dengan menurunkan konsumsi arus perekam data. Cara menurunkan konsumsi arus perekam data adalah dengan menurunkan frekuensi kerja mikroprosesor atau menerapkan konsep *powersave*.
- d) Untuk mendapatkan hasil pengamatan anomali medan magnet yang akurat maka perekam data harus ditempatkan sedekat mungkin dengan titik prediksi epicenter gempa.
- e) Hasil transformasi FFT pada sensor accelerometer menunjukkan komponen frekwensi rendah gempa ( $\leq 20\text{Hz}$ ) memiliki magnitude yang beragam dengan magnitude dominan ada pada frekwensi  $5\text{hz}$  s/d  $10\text{hz}$ . Komposisi frekwensi tersebut bisa dijadikan faktor ciri (*feature*) untuk mengenali pola getaran seismik di masa yang akan datang jika akan diterapkan untuk peringatan.
- f) Hasil transformasi FFT pada sensor magnetometer menunjukkan komponen frekwensi rendah gempa ( $\leq 66\text{Hz}$ ) memiliki magnitude yang beragam dengan magnitude dominan ada pada frekwensi  $5\text{hz}$ - $10\text{hz}$ ,  $25\text{hz}$ - $40\text{hz}$ , dan  $50\text{hz}$ - $60\text{hz}$ . Komposisi frekwensi tersebut bisa dijadikan faktor ciri (*feature*) untuk mengenali pola fluktuasi medan magnet yang mengiringi terjadinya gempa bumi, baik sebelum, bersamaan, maupun setelah terjadinya gempa bumi.
- g) Dengan menggunakan komponen perekam data berstandar *low power consumption*, dan menerapkan konsep *powersave*. Sehingga perekam data mampu bertahan dalam kurun waktu yang lama.
- h) Sistem perekam data dapat dikombinasikan dengan konsep telemetri, sehingga data hasil pengukuran bisa ditransmisikan secara *realtime* menuju stasiun induk pemantau agar dengan cepat bisa diambil kesimpulan.
- i) Dengan memasukan *input* parameter lain, yaitu jarak antara perekam data dengan epicenter yang sudah diprediksikan sebelumnya, serta mendapatkan karakteristik tanah di area rawan terjadi bencana gempa, maka bisa dibuat sebuah sistem peringatan dini terhadap bahaya gempa dengan jeda peringatan yang jauh lebih lama dan mencukupi untuk proses evakuasi.

## UCAPAN TERIMAKASIH

- a) Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Dirjen Dikti Republik Indonesia.
- b) Rektor Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.
- j) Kepala LPPM Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

## DAFTAR PUSTAKA

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.
- HATTORI, K. (2004) ULF Geomagnetic Changes Associated with Large Earthquakes. *Terrestrial, Atmospheric, and Oceanic Sciences*, 15(3), 329–360.
- JOSEPH L. KIRSCHVINK (2000): *Earthquake Prediction by Animals: Evolution and Sensory Perception*, Bulletin of the Seismological Society of America, 90, 2, pp. 312–323, April 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.
- TONG, W. K. (1988). *Abnormal Animal Behavior and The Prediction of Earthquake*. Northeastern Illinois University
- HORNG-YUAN YEN et al. (2004): *Geomagnetic fluctuations during the 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan*, Earth Planets Space, 56, 39–45, 2004.