

**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT LUNAK
ANALISIS PADA SISTEM JARINGAN DETEKTOR GEMPA
DAN TSUNAMI DECISION SUPPORT SYSTEM**

TUGAS AKHIR

Oleh

KEVIN SHIDQI

NIM : 13213065

Program Studi Teknik Elektro



**SEKOLAH TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG**

2017

**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT LUNAK ANALISIS
PADA SISTEM JARINGAN DETEKTOR GEMPA DAN TSUNAMI
DECISION SUPPORT SYSTEM**

Oleh :

Kevin Shidqi

Tugas Akhir ini telah diterima dan disahkan
sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNIK

di

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
SEKOLAH TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG**

Bandung, 10 Mei 2017

Disetujui oleh :

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. techn. Ary Setijadi Prihatmanto, ST,MT.

NIP. 197208271997021003

Dr.Ir. Aciek Ida Wuryandari, MT.

NIP. 195410051982112001

ABSTRAK

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT LUNAK ANALISIS PADA SISTEM JARINGAN DETEKTOR GEMPA DAN TSUNAMI DECISION SUPPORT SYSTEM

Oleh

Kevin Shidqi

NIM 13213065

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Earthquake Catcher Network (ECN) merupakan hasil pengembangan dari sistem jaringan detektor gempa dan tsunami decision support system dengan menggunakan sensor pergerakan dan sensor penentuan lokasi yang terintegrasi jaringan internet sebagai alat bantu keputusan untuk melakukan evakuasi. ECN digunakan sebagai salah satu solusi untuk Sistem Peringatan Awal Gempa dan Tsunami yang murah. ECN terdiri dari tiga bagian, yaitu sensor gempa, sistem jaringan dan basis data, dan perangkat lunak pengolahan gempa. ECN dapat mendeteksi getaran yang ada di permukaan tanah dengan mengolah data percepatan tiga sumbu dimensi menjadi data seismik. Data percepatan ini kemudian digabungkan dengan data lokasi sensor lalu dikirimkan melalui jaringan internet. Protokol pengiriman yang dilakukan harus dapat membedakan antar sensor dan juga dapat mengirimkan data seismik menuju server basis data maupun perangkat lunak pengolahan gempa. Hasil pengolahan data akan dibandingkan dengan pengolahan data yang dilakukan oleh BMKG, dan USGS. Pada implementasinya, sebuah modul sensor gempa akan mengirimkan data seismik dalam format GeoJSON. Pengiriman data dilakukan dengan menggunakan melalui jaringan internet menuju Messaging Server RabbitMQ dan kemudian dilakukan konsumsi data oleh perangkat lunak server berbasis MySQL. Pengujian jaringan dilakukan dengan mengirimkan sebuah tanda waktu menuju RabbitMQ kemudian data tersebut dikonsumsi dengan menggunakan sebuah program. Program ini akan memberikan tanda waktu kedua lalu kedua tanda tsb akan dikirimkan ke basis data. Hasil yang

diinginkan adalah data kedua waktu ini sama sehingga membuktikan bahwa pengiriman data dari sensor gempa menuju konsumen yang diinginkan berhasil.

Kata kunci : Earthquake Catcher Network, data seismik, jaringan, basis data.

ABSTRACT

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SOFTWARE ANALYSIS ON EQUIPMENT SYSTEM DETECTOR EARTHQUAKE AND TSUNAMI DECISION SUPPORT SYSTEM

By

Kevin Shidqi

NIM : 13213065

ELECTRICAL ENGINEERING

Earthquake Catcher Network (ECN) is the result of the development of earthquake and tsunami decision support system earthquake system by using the movement sensors and location locating sensors that integrate the Internet network as a decision tool for evacuation. ECN is used as one of the solutions for the Inexpensive Earthquake and Tsunami Early Warning System. ECN consists of three parts, namely earthquake sensors, network systems and databases, and seismic processing software. The ECN can detect ground-level vibrations by processing three-dimensional acceleration data into seismic data. This accelerated data is then combined with sensor location data and then transmitted over the internet network. The delivery protocol must be able to distinguish between sensors and can also transmit seismic data to the database server as well as earthquake processing software. The results of data processing will be compared with data processing conducted by BMKG, and USGS. In its implementation, an earthquake sensor module will transmit seismic data in GeoJSON format. Data transmission is done by using over the internet network to RabbitMQ Messaging Server and then performed data consumption by MySQL based server software. Network testing is done by sending a time sign to RabbitMQ then the data is consumed using a program. This program will give a second time mark then both marks will be sent to the database. The desired result is the same second time data so as to prove that the data transmission from the earthquake sensor to the desired

customer

succeeds.

Keywords: Earthquake Catcher Network, seismic data, network, database.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah ta'ala, yang atas rahmat dan karuniaNya penulis dapat menyelesaikan penulisan dan pengerjaan tugas akhir ini. Shalawat dan salam tercurah kepada Rasulullah Muhammad shallallahu 'alyhi wasallam beserta keluarganya, shahabatnya, dan para pengikutnya hingga akhir zaman.

Selama mengerjakan tugas akhir ini, penulis mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

- ✓ Ayah dan Ibuku, Kemal Unggul Prakoso dan Yenivera Yoto, yang selalu membimbing, mendidik, mengajarkan kedisiplinan tanpa kenal lelah dan mendoakan penulis hingga bisa seperti sekarang ini, serta adikku tercinta, Reyhan Malvin Prakoso, yang setiap pagi selalu membangunkan ku untuk shalat subuh, memberikan pijatan terbaiknya jika penulis sedang lelah, dan selalu ada saat sedang dibutuhkan di rumah, semoga mimpinya dapat terwujud untuk bisa mengikuti jejak kakaknya untuk berhasil masuk ke ITB;
- ✓ Bapak Dr. techn. Ary Setijadi Prihatmanto, dan Ibu Dr.Ir. Aciek Ida Wuryandari, MT., selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing penulissertan memberikan arahan dalam pengerjaan tugas akhir ini;
- ✓ Bapak Hendy Irawan selaku mahasiswa doktoral yang sering membantu kami dalam mengerjakan tugas akhir ini;
- ✓ Bramantio Yuwono dan Christoporus Deo Putratama selaku 1 tim seperjuangan bersama dengan penulis yang tidak kenal lelah menyelesaikan setiap tantangan yang hadir dalam pengerjaan tugas akhir ini, selalu memberikan motivasi dan semangat satu sama lain, semoga bisa bertemu lagi dengan cerita kesuksesan masing – masing;
- ✓ Teman-teman seperjuangan di ruang riset mandiri tempat penulis mengerjakan tugas akhir ini yang selalu memberikan keceriaan, dukungan, dan motivasi untuk pantang menyerah;
- ✓ Fiana Fauzia, Larissa Arindini, dan Reyhan Fariz Taqwantara yang sudah membantu penulis dalam menyusun video dokumentasi tugas akhir elektro ini;

- ✓ Seluruh teman-teman Teknik Elektro ITB angkatan 2013, serta seluruh teman-teman HME ITB;
- ✓ dan semua pihak yang membantu, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa pengerjaan tugas akhir ini tidaklah sempurna. Karena itu kritik dan saran sangat diharapkan oleh penulis.

Akhir kata, semoga buku tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 10 Mei 2017

Penulis

Kevin Shidqi, 13213065

DAFTAR ISI

ABSTRAK	III
ABSTRACT	V
KATA PENGANTAR	VII
DAFTAR ISI.....	IX
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	XI
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah.....	2
I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	2
I.4 Batasan Masalah.....	3
I.5 Metodologi	3
I.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Quake Catcher Network	5
II.2 AMQP	5
II.3 <i>Inertial Measurement Unit</i> (IMU).....	6
II.4 Seiscomp3	6
BAB III PERANCANGAN	8
III.1 Sistem Umum	9
III.2 <i>Desain Sistem Komunikasi</i>	12
III.3 <i>Desain Hardware</i>	13
III.3.1 <i>Sensor</i>	13
III.3.2 <i>Casing</i>	16

III.4	<i>Desain Software</i>	17
III.4.1	<i>Helicorder</i>	18
III.4.2	<i>Analisis Gempa</i>	19
III.5	Desain Basis Data.....	21
BAB IV IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN		23
IV.1	Hasil Pengujian.....	23
DAFTAR PUSTAKA		27
LAMPIRAN.....		28

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.2 Inertial Measurement Unit.....	6
Gambar III.1 Blok Diagram Konsep Operasi Papatong MAV	8
Gambar III.2 Sistem Umum.....	9
Gambar III.3 Diagram Sensor	14
Gambar III.4 Komponen	15
Gambar III.5 Desain PCB	16
Gambar III.6 Gambar Casing	17
Gambar III.7 Helicorder.....	18
Gambar III.8 Analisis Gempa	20
Gambar III.9 Flowchart Data	22
Gambar IV.1 Magnitude View.....	23
Gambar IV.2 Website USGS	24
Gambar IV.3 Magnitude View Saat Gempa	25

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	ARTI
APBN	Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara
BMKG	Badan Meteorologi, Klimatogi, dan Geofisika
BPPT	Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
DSS	Decision Support System
GPS	Global Positioning System
GITEWS	German Indonesian Tsunami Early Warning System
InaTEWS	Indonesia Tsunami Early Warning System
ITB	Institut Teknologi Bandung
LAPAN	Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
LIPI	Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Pemda	Pemerintah daerah
PPMB	Pusat Penelitian Mitigasi Bencana
PPTIK	Pusat Penelitian Teknologi, Informasi dan Komunikasi

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Secara geografis, Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng tektonik utama dunia yang bergerak relatif saling mendesak satu dengan lainnya. Hal ini menyebabkan Indonesia menjadi negara yang di dalamnya rawan terjadi bencana, khususnya bencana gempa bumi. Berdasarkan data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), di wilayah Indonesia dapat dideteksi sekitar 4000 gempa bumi terjadi pertahun, sedangkan gempa bumi berkekuatan di atas 5,5 SR dan gempa bumi yang dapat dirasakan oleh manusia, terjadi rata-rata sekitar 70–100 kali per tahun, dan gempa bumi tektonik yang menimbulkan kerusakan terjadi antara 1–2 kali per tahun. Sejak tahun 1991 sampai dengan 2011 tercatat telah terjadi 186 kali gempabumi tektonik yang merusak. Gempa bumi dengan magnitudo besar (7 SR atau lebih) dengan kedalaman yang dangkal di bawah laut, dapat menimbulkan tsunami karena adanya perubahan ketinggian kolom air dalam waktu singkat. Oleh karena itu berdasarkan fakta-fakta di atas, kesiapan dan ketanggapan terhadap kondisi darurat dan bencana khususnya bencana gempa bumi dan tsunami menjadi sesuatu yang mendesak bagi negara dan masyarakat Indonesia.

Salah satu solusi yang dapat diupayakan dalam rangka meningkatkan kemampuan negara dan masyarakat Indonesia dalam menghadapi kondisi darurat kebencanaan adalah dengan membangun Sistem Peringatan Dini (Early Warning System – EWS) khususnya untuk bencana gempa bumi dan tsunami. Supaya EWS dapat terlaksana, pembangunan infrastruktur deteksi gempa yang efektif dan responsif menjadi urgensi yang utama. Hal ini dikarenakan jumlah seismometer yang ada di Indonesia tergolong sedikit untuk mencakup luas wilayah Indonesia. Selain itu, pengambilan keputusan untuk melakukan diseminasi juga harus didukung data dengan tingkat kepercayaan yang tinggi, dan itu bisa dilakukan ketika semakin banyak detektor gempa yang terpasang di Indonesia.

Earthquake Catcher Network (ECN) merupakan pengembangan teknologi yang dibuat dari teknologi yang sebelumnya dibuat oleh Stanford University dengan judul Quake Catcher Network(QCN). Teknologi detektor gempa yang murah dan diintegrasikan dengan jaringan internet memungkinkan peneliti untuk memperoleh data seismik dengan lebih akurat dan juga dapat meningkatkan performa diseminasi dan EWS itu sendiri. Dalam tulisan ini, penulis akan berfokus pada sistem jaringan dan basis data yang menjadi jembatan bagi sensor gempa untuk dapat mengirimkan data seismik yang dibutuhkan oleh peneliti dan juga dapat diolah sebagai perangkat lunak untuk pengguna umum. Sistem jaringan ini melibatkan koneksi dari sensor menuju server pengirim pesan dan juga server basis data.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka masalah yang akan diangkat oleh penulis dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana membuat perangkat lunak yang bisa digunakan untuk monitoring jaringan sensor?
- Bagaimana algoritma untuk melakukan analisis data seismik?
- Bagaimana mengintegrasikan sumber informasi gempa yang berbeda-beda?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tugas akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Membuat sebuah sistem deteksi gempa dan tsunami yang murah
2. Merancang sebuah sensor gempa yang dapat mendeteksi pergerakan permukaan tanah dan penentuan lokasi sensor
3. Membuat jaringan yang bisa mengintegrasikan sensor gempa dengan basis data dan juga pengolahan data gempa
4. Merancang perangkat lunak yang dapat melakukan monitoring sensor gempa dan juga melakukan keputusan kemungkinan terjadinya gempa

5. Merancang perangkat lunak yang dapat mengolah data seismik sehingga dihasilkan luaran berupa magnituda, hiposentrum, dan episentrum dari gempa.

I.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang penulis rumuskan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Pembuatan jaringan dibatasi hanya untuk sekitar 6 buah sensor gempa
- Data seismik yang dikirimkan oleh sensor gempa berupa data diskrit dan bukan data analog
- Tidak dilakukan pembahasan teori frekuensi jaringan pada implementasi sistem jaringan

I.5 Metodologi

Metode penelitian yang dilakukan dalam mengerjakan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Penentuan topik
2. Studi pustaka
3. Penentuan spesifikasi
4. Perancangan sistem
5. Implementasi sistem rancangan
6. Pengujian dan perbaikan sistem

I.6 Sistematika Penulisan

Penulis membagi laporan menjadi lima bab dengan urutan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, metodologi pengerjaan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijabarkan dasar-dasar teori yang menjadi acuan dasar penulis dalam merancang dan mengimplementasikan sistem ECN.

BAB III PERANCANGAN

Dalam bab ini dijelaskan mengenai perancangan sistem perangkat lunak analisis pada ECN menggunakan RabbitMQ dan MySQL

BAB IV PENGUJIAN

Bab ini menjelaskan hasil pengujian analisis data seismik pada perangkat lunak ECN.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini dijabarkan mengenai kesimpulan yang didapatkan pada tugas akhir ini, dan saran untuk pengembangan sistem selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Quake Catcher Network

The Quake-Catcher Network adalah jaringan komputasi terdistribusi yang menghubungkan relawan dengan host komputer ke jaringan penginderaan real-time. QCN adalah salah satu dari banyak proyek komputasi ilmiah yang berjalan di platform komputasi terdistribusi terkenal di dunia Berkeley Open Infrastructure for Network Computing (BOINC). Komputer relawan memonitor sensor vibrasi yang disebut accelerometers MEMS, dan mengirimkan "pemicu" digital ke server QCN setiap kali ada gerakan baru yang kuat. Server QCN menyaring sinyal ini, dan menentukan mana yang mewakili gempa bumi, dan mana yang mewakili kebisingan budaya (seperti membanting pintu, atau mengendarai truk).

II.2 AMQP

Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) adalah protokol lapisan aplikasi standar terbuka untuk middleware berorientasi pesan. Fitur yang menentukan dari AMQP adalah orientasi pesan, antrian, perutean (termasuk point-to-point dan publish-and-subscribe), kehandalan dan keamanan. [1]

AMQP mengamankan perilaku penyedia pesan dan klien sejauh implementasi dari vendor yang berbeda dapat dioperasikan, dengan cara yang sama seperti SMTP, HTTP, FTP, dan lain-lain telah menciptakan sistem yang dapat dioperasikan. Standarisasi middleware sebelumnya telah terjadi di tingkat API (misalnya JMS) dan difokuskan pada interaksi programmer standarisasi dengan implementasi middleware yang berbeda, daripada menyediakan interoperabilitas antara beberapa implementasi. Tidak seperti JMS, yang mendefinisikan API dan serangkaian perilaku yang harus dilakukan implementasi pesan, AMQP adalah protokol tingkat kawat. Protokol tingkat kawat adalah deskripsi format data yang dikirim melalui jaringan sebagai aliran byte. Akibatnya, alat apa pun yang dapat membuat dan menafsirkan pesan yang sesuai

dengan format data ini dapat saling terkait dengan perangkat lain yang sesuai terlepas dari bahasa implementasi.

II.3 *Inertial Measurement Unit (IMU)*

Sebuah **unit pengukuran inersia, inertial measurement unit** atau **IMU**, adalah sebuah perangkat elektronik yang mengukur dan melaporkan kecepatan kerajinan itu, orientasi, dan gaya gravitasi, menggunakan kombinasi akselerometer dan giroskop, kadang-kadang juga magnetometer. IMU biasanya digunakan untuk manuver pesawat, termasuk kendaraan udara tak berawak (UAV), antara lain banyak, dan pesawat ruang angkasa, termasuk satelit dan pendarat. Perkembangan terkini memungkinkan untuk produksi perangkat GPS IMU-enabled. Sebuah IMU memungkinkan penerima GPS untuk bekerja ketika GPS-sinyal tidak tersedia, seperti di terowongan, di dalam bangunan, atau ketika interferensi elektronik hadir. Namun, pada tugas akhir ini IMU digunakan sebagai pendeteksi getaran.



Gambar II.1 Inertial Measurement Unit

II.4 **Seiscomp3**

Perangkat lunak seismologi SeisComP telah berkembang dalam waktu sekitar 10 tahun terakhir dari modul akuisisi murni hingga perangkat lunak pemantauan gempa real-time yang lengkap. Protokol SeedLink yang sekarang sangat populer untuk transmisi data seismik telah menjadi inti dari SeisComP sejak awal. Penambahan selanjutnya termasuk deteksi peristiwa sederhana, deteksi otomatis, kemampuan penentuan lokasi dan besaran.

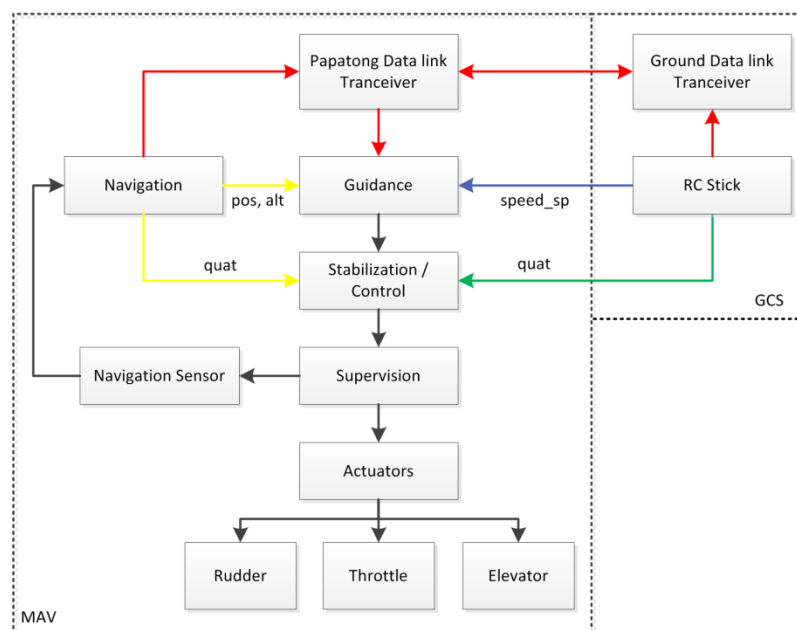
Terutama dalam pengembangan SeisComP generasi ke-3, juga dikenal sebagai "SeisComP 3", kemampuan pemrosesan otomatis telah ditambah dengan antarmuka

pengguna grafis (GUI) untuk vizualization, review acara cepat dan kontrol kualitas. Komunikasi antara modul dicapai dengan menggunakan infrastruktur berbasisan Spread / TCP yang memungkinkan komputasi terdistribusi dan tinjauan jarak jauh. Untuk transaksional seismologi pertukaran ekspor / impor ke / dari QuakeML bersifat available, yang juga menyediakan antarmuka yang mudah digunakan dengan software pihak ke-3. Perkembangan awal SeisComP3 berlangsung di GFZ antara tahun 2006 dan 2008 dalam proyek GITEWS (Sistem Peringatan Dini Tsunami Jerman Indonesia, Hanka et al., 2010). Dari kelompok pengembangan SeisComP3, perusahaan perangkat lunak Ware GmbH telah di-outsource.

BAB III

PERANCANGAN

Earthquake Cathcer Network adalah sistem pendeteksi gempa yang mengintegrasikan 3 sumber data berupa gelombang seismik, memroses data tersebut sehingga dihasilkan suatu keluaran yang berupa keputusan harus mengeluarkan suatu peringatan tsunami atau tidak. Sistem ini bekerja dengan cara mendeteksi suatu kejadian gempa, menentukan lokasi dan kedalaman pusat gempa, menentukan magnituda dari kejadian gempa, lalu dengan sebuah model, memperkirakan bahaya tsunami yang mungkin ditimbulkan gempa tersebut. Selain itu, sistem juga memprediksi inundasi tsunami, atau seberapa jauh tsunami akan mencapai daratan.

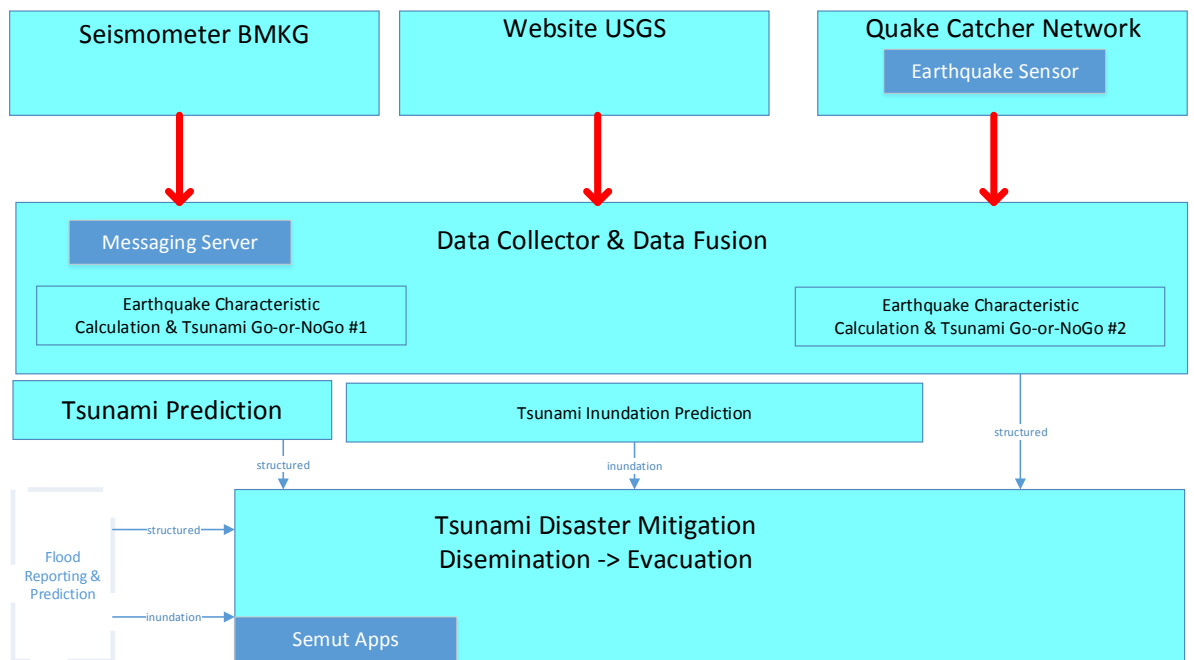


Gambar III.1 Blok Diagram Konsep Operasi Papatong MAV

Pada mode navigasi normal, setiap *setpoint* akan mengikuti jalur berwarna hitam. Namun via jalur hijau, perintah dari RC dapat berperan sebagai pelapis *guidance*. Pada mode kendali sikap manual, jalur input hijau dianggap untuk stabilisasi. Untuk dapat mengendalikan sikap Papatong secara optimal, dibutuhkan solusi navigasi dengan memperoleh *navigation states* yang terdiri dari estimasi sikap, posisi, dan kecepatan yang dikembangkan menggunakan sensor IMU (accelerometer, gyroscope, dan magnetometer) dan GPS yang selanjutnya setiap *state* tersebut digunakan untuk

algoritma *guidance* dan *control* (*stabilization*). *Navigation states* dikembangkan menggunakan 2 subsistem yaitu *Attitude and Heading Reference System* (AHRS) dan *Inertial Navigation System* (INS).

III.1 Sistem Umum



Gambar III.2 Sistem Umum

Seismometer BMKG digunakan untuk *monitoring* gelombang seismik di seluruh Indonesia, dan disediakan aksesnya oleh BMKG. Seismometer ini merupakan metode yang paling konvensional dalam pengawasan gempa, dan telah digunakan dalam sistem yang telah berjalan sekarang ini yaitu InaTEWS. Seismometer ini merupakan salah satu sensor yang digunakan dalam sistem ini untuk mendeteksi gempa dan memprediksi tsunami. Seismometer juga bisa memberi data lokasi melalui GPS, sehingga bisa diprediksi bahaya tsunami atau tidak berdasarkan lokasi dan kedalaman gempa. Data tersebut dikirim melalui sebuah *API messaging*, melalui sebuah

messaging server. Data tersebut akan dikirim ke server yang akan berfungsi sebagai pusat data dan tempat analisis data.

USGS (*United States Geological Survey*) adalah lembaga geologi Amerika Serikat yang menyediakan data *seismic waveform* melalui websitenya yang tersedia secara gratis. Data tersebut adalah data gempa yang diupdate secara *real-time* dan tersedia di situs <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map>. Data ini digunakan sebagai sumber tambahan dalam deteksi gempa dan prediksi tsunami. Rincian data tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kejadian gempa
2. Magnituda
3. Waktu dan tempat
4. Kedalaman gempa

Dari detail tersebut, bisa dibuat prediksi bahaya tsunami berdasarkan lokasi dan kedalaman gempa. Adanya data dari USGS yang mencakup seluruh dunia membantu kita dalam mendeteksi gempa yang agak jauh dari Indonesia sehingga tidak terdeteksi seismometer lokal, namun tetap bisa berpotensi tsunami yang membahayakan Indonesia.

QCN (*Quake Catcher Network*) adalah software *open-source* yang dikembangkan oleh Stanford University sebagai sistem detektor gempa berbasis sensor yang murah dan dapat dibuat oleh orang masyarakat umum. QCN diharapkan dapat menjadi sistem pendeteksi gelombang kuat terbesar di dunia yang murah dengan memanfaatkan sensor yang dihubungkan dengan komputer melalui USB, dan terhubung ke server QCN di California melalui internet. Jaringan QCN ini dapat memberitahukan suatu kejadian gempa melalui informasi yang didapat dari sensor-sensor yang dipasang ke jaringan tersebut.

Pada sistem ini, sensor yang akan dihubungkan ke QCN akan dibuat sendiri. Sensor tersebut berisi MEMS (*Mini Electro-Mechanical Sensor*), yaitu IMU (*Inertial Measurement Unit*) dan sensor piezoelectric. Sensor tersebut digunakan untuk

mengukur getaran gempa dan orientasi dari getaran tersebut. Dengan cara ini dapat dibedakan antara gelombang primer dan sekunder dari gempa, sehingga kita bisa mengetahui kedalaman gempa tersebut. Melalui kerjasama banyak sensor di daerah-daerah tertentu, dapat juga ditentukan episentrum dari gempa melalui metode triangulasi, sehingga seperti data sebelumnya dapat ditentukan potensi tsunami dari gempa tersebut.

Dari gabungan ketiga data tersebut, akan dilakukan suatu proses analisis untuk menentukan bahaya atau tidaknya gempa tersebut, dan potensi tsunami. Analisis tersebut menggunakan model yang sudah dikembangkan berdasarkan kejadian gempa dan tsunami di masa lalu. Beberapa model yang akan kami gunakan adalah Tunami yang dikembangkan Tohoku University, Tunawi yang dikembangkan oleh Jerman, dan ComCod yang dikembangkan oleh USGS. Dengan adanya tiga data sumber, prediksi dapat dilakukan dengan lebih akurat. Melalui model ini, diharapkan bahwa analisis dapat dilakukan secepat mungkin, sehingga peringatan dini akan adanya tsunami dapat diberikan dalam waktu 5 menit dari sejak kejadian gempa.

Prediksi akan adanya tsunami juga termasuk prediksi inundasi, yaitu prediksi seberapa jauh tsunami akan mencapai daratan. Hal tersebut dapat diprediksi dari kenyataan bahwa tinggi dari tsunami bergantung pada panjang gelombang serta kedalaman laut. Dengan menggunakan *Bathymetry*, yaitu pengukuran kedalaman dan topografi laut, dapat diprediksi tinggi tsunami yang akan terjadi. Bila ditambah dengan pengetahuan tentang topografi daratan, kita bisa memprediksi inundasi dari tsunami tersebut. Hasil dari proses analisis dan prediksi ini sangat penting karena akan menentukan bagaimana mitigasi bencana dilakukan.

III.2 *Desain Sistem Komunikasi*

Pada jaringan yang terdapat dalam Sistem Jaringan Detektor Gempa dan Tsunami Decision Support System, standar data yang digunakan dalam pengiriman secara aktual adalah dalam bentuk sebuah pesan singkat yang memiliki isi yang padat dan jelas. Sebagai contoh, sebuah protokol pesan singkat untuk memberitakan terjadinya sebuah gempa dan/atau tsunami adalah sebagai berikut:

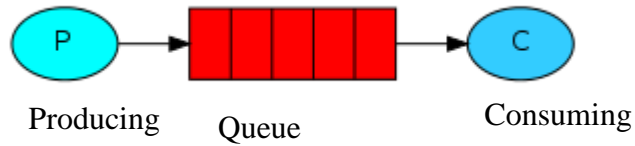
Tsunami Warning in BENGKULU, Eq Mag:7.0RS, 09-Dec-09 15:52:59 UTC,
Loc:4.64S/101.11E, Dep:10km::BMKG

Dapat dilihat bahwa dalam mengirimkan pesan singkat maka diperlukan susunan aturan yang dapat dimengerti oleh sistem. Pada proyek ini, protokol komunikasi yang digunakan adalah berbasis Advanced Messaging Queueing Protocol (AMQP). Protokol ini dipilih karena mempunyai beberapa fitur yang sesuai dengan sistem yang digunakan. AMQP diterapkan oleh sebuah vendor komunikasi RabbitMQ sehingga akan digunakan RabbitMQ dengan metode AMQP sebagai protokol komunikasi sistem. RabbitMQ sendiri merupakan broker pesan, dimana sebuah pesan yang dikirimkan dari pengirim menuju tujuan akan difasilitasi oleh RabbitMQ. Protokol pesan dapat dimodifikasi sehingga:

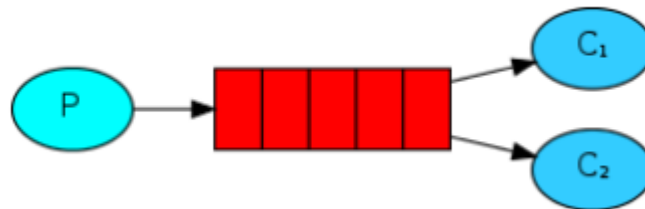
- Pengiriman pesan dapat diurutkan dalam sebuah antrian baris;
- Melakukan penerbitan pesan ke seluruh bagian sistem jaringan;
- Melakukan langganan pesan oleh pengguna pada broker;
- Melakukan penghubungan dan penyaringan pesan;
- Seleksi pesan yang akan diperoleh;
- Kendali jarak jauh pada jaringan dengan metode *remote*.

Fitur-fitur diatas dapat menguntungkan karena tidak semua data yang diperoleh merupakan informasi yang penting dan besar kemungkinan pada sistem bawa sebuah pesan dapat terkena distorsi akibat *bug* pada sistem. Selain itu mudah untuk mengendalikan sebuah sistem jaringan yang besar dengan protokol pesan AMQP ini.

Diagram blok dari sistem protokol komunikasi RabbitMQ adalah sebagai berikut:



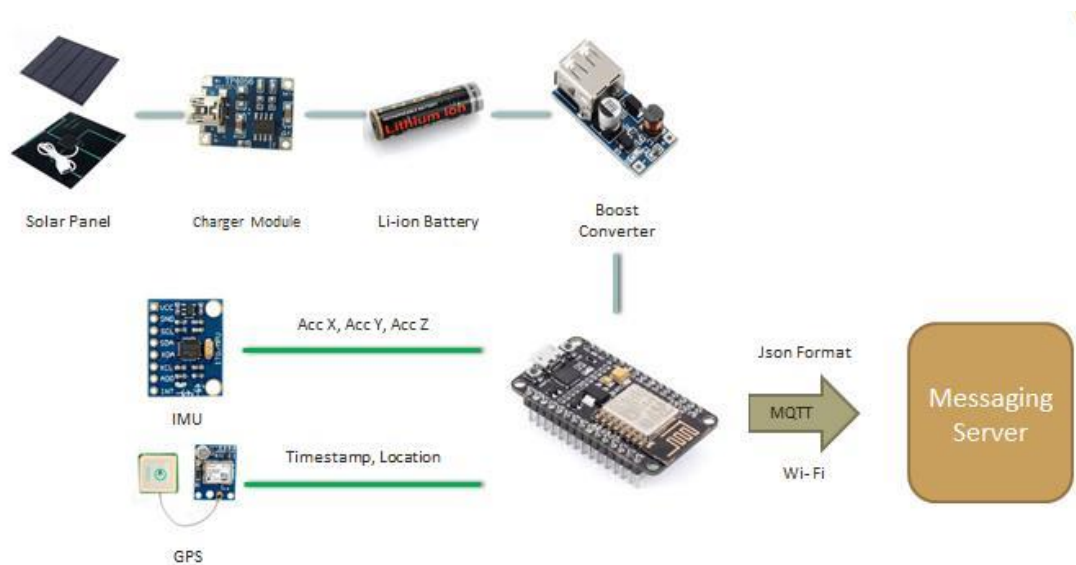
Gambar diagram blok diatas dari sistem paling sederhana dari RabbitMQ, dimana ada sebuah komponen sistem yang menghasilkan sebuah pesan, kemudian dimasukkan ke dalam antrian dan selanjutnya dikirimkan kepada konsumen. Selanjutnya akan disertakan diagram blok dari fitur RabbitMQ berupa penerbitan pesan pada beberapa konsumen.



III.3 Desain Hardware

III.3.1 Sensor

Pada sistem elektrik sensor sendiri dibagi menjadi dua bagian, yaitu sistem daya dan sistem mikrokontroller. Untuk desain sistem elektrik dapat dilihat pada diagram berikut ini.



Gambar III.3 Diagram Sensor

Untuk menyuplai sensor yang harus bekerja selama 24 jam terus-menerus, digunakan solar panel yang akan menyuplai sensor pada siang hari. Karena solar panel tidak dapat menyuplai daya pada siang hari maka diperlukan rangkaian charging baterai, agar ketika malam sistem daya ini masih dapat menyuplai sistem mikrokontroler. Sehingga digunakan modul charge controller baterai Li-ion yang berbasis chip TP4056. Chip TP4056 ini dapat mengatur tingkat charging baterai Li-ion karena untuk mengisi baterai Li-ion dibutuhkan tegangan konstan pada 4.2 Volt dan arus yang berubah sesuai dengan kapasitas baterai yang sudah terisi. Baterai Li-ion dipilih karena sifatnya yang tidak mudah rusak jika dilakukan proses charge-discharge dibandingkan dengan baterai lain.

Untuk menentukan berapa daya solar panel dan kapasitas baterai yang dibutuhkan, dilakukan beberapa asumsi dalam perhitungan. Asumsi pertama adalah solar panel tidak akan bisa menyuplai daya selama 12 jam sehari yaitu dari jam 6 pagi sampai jam 6 malam. Asumsi kedua adalah solar panel hanya dapat menyuplai sensor selama 7 jam jika cuaca cerah. Dengan diketahui tegangan kerja sensor, daya maksimum yang dibutuhkan NodeMCU maka dapat diperoleh.

Pada malam hari :

$$V_{solar} = V_{battery} = V_{sensor} = 5 V$$

$$I_{battery} = I_{sensor} = 1 A \text{ selama } 12 \text{ jam}$$

$$C_{battery} = 1 A * 12h = 12000 mAh$$

Pada siang hari :

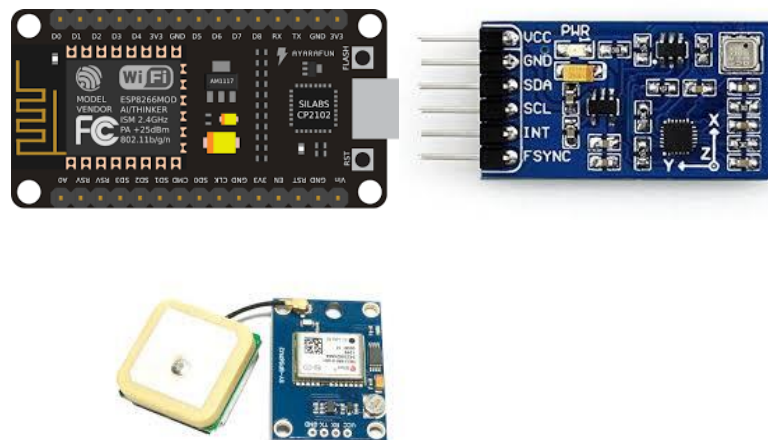
$$I_{solar} = I_{battery} + I_{sensor}$$

$$C_{battery} = 7 * I_{battery} = 12000 mAh$$

$$I_{battery} = 1.7A, I_{solar} = 2.7 A$$

$$P_{solar} = 13.5 W$$

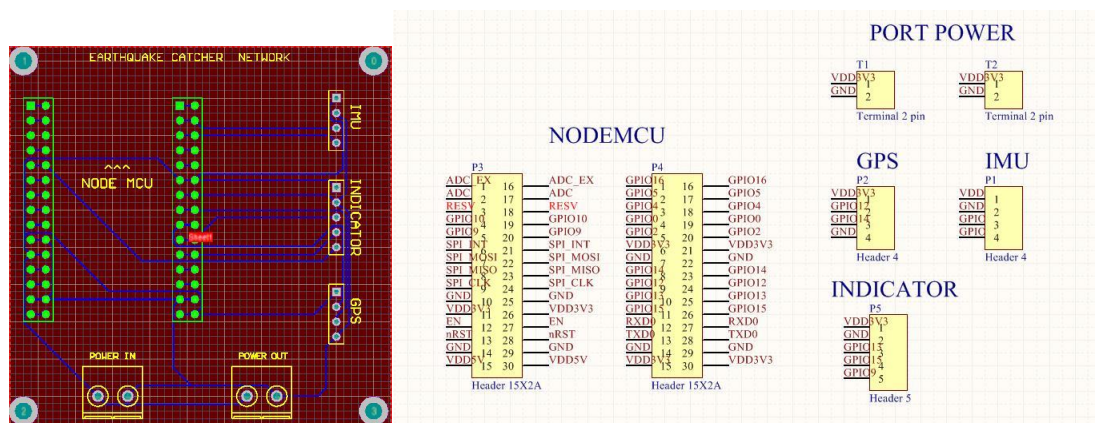
Diperoleh bahwa dibutuhkan baterai dengan kapasitas 12000 mAh dan solar panel yang memiliki daya sebesar 13.5 W. Perhatikan bahwa perhitungan ini tidak memperhatikan fakta bahwa solar panel tidak akan menyuplai daya sebesar 13.5 W secara konstan dan loss daya pada rangkaian charge controller. Sehingga hitungan ini hanya sebagai dasar penentuan sistem daya yang tepat untuk sensor dan diperlukan percobaan lagi untuk mengetahui berapa daya solar panel yang dibutuhkan dan kapasitas baterai yang dibutuhkan.



Gambar III.4 Komponen

Pada sistem mikrokontroller, digunakan NodeMCU sebagai mikrokontroller dengan alasan harga yang murah dan sudah terdapat modul Wi-Fi pada NodeMCU. Untuk GPS digunakan modul GPS ublox Neo-6M dan untuk IMU digunakan MPU9255. Dipilih MPU9255 dibandingkan dengan IMU jenis lain berdasarkan pada adanya magnetometer yang dapat digunakan untuk mengoreksi simpangan antara sumbu x sensor dengan kutub utara.

Rangkaian dan desain PCB pada sistem mikrokontroler dapat dilihat pada diagram dibawah ini

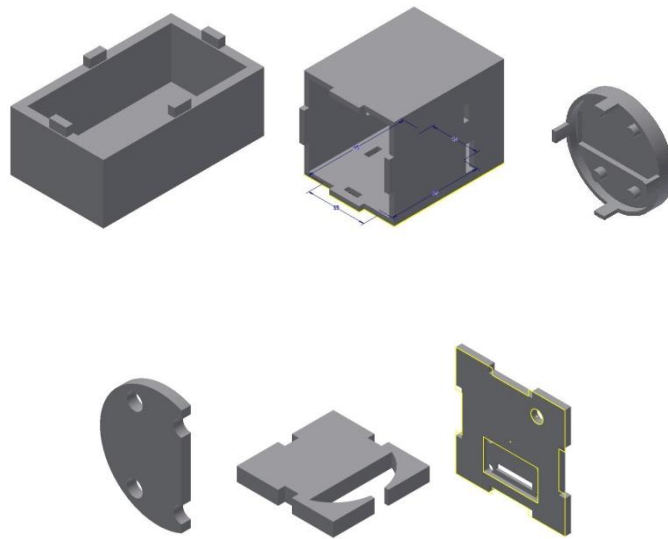


Gambar III.5 Desain PCB

Dapat dilihat bahwa koneksi dari mikrokontroller NodeMCU ke GPS, IMU, dan modul Indikator digunakan header untuk memudahkan pemasangan dan instalasi. Ukuran board PCB yang didesain adalah 6.5 cm x 6.5 cm menyesuaikan dengan casing yang didesain. Untuk koneksi PCB ini ke sistem daya digunakan terminal dengan dua port sehingga lebih mudah dihubungkan antar sistem.

III.3.2 Casing

Untuk menyatukan sistem daya dan sistem mikrokontroler yang sudah disebutkan tadi, diperlukan sebuah casing yang membuat sensor tidak mudah rusak atau terganggu dengan lingkungan luar. Berikut adalah desain 3D casing dengan menggunakan aplikasi Autodesk Inventor.



Gambar III.6 Gambar Casing

Desain pada gambar pertama berfungsi untuk tempat meletakkan baterai sehingga baterai mudah diganti dan dapat ditempel pada casing utama pada gambar kedua yang berfungsi sebagai tempat meletakkan PCB dan sistem daya. Pada casing utama tersebut, terdapat lubang untuk meletakkan casing baterai yang sudah dijelaskan sebelumnya dan lubang sebagai tempat meletakkan GPS dan sebagai tempat kabel IMU yang akan digunakan pada casing IMU pada gambar 3,4 dan 5. Gambar 3 merupakan tempat untuk meletakkan modul MPU9255 yang dapat ditutup oleh casing pada gambar 4 dan 5. Desain 3D pada gambar 6 berfungsi untuk menutup casing utama pada gambar 2 yang sudah dijelaskan sehingga kabel untuk solar panel dapat masuk ke modul sistem mikrokontroler dan casing utama. Casing pada gambar 6 juga berfungsi untuk meletakkan modul indikator.

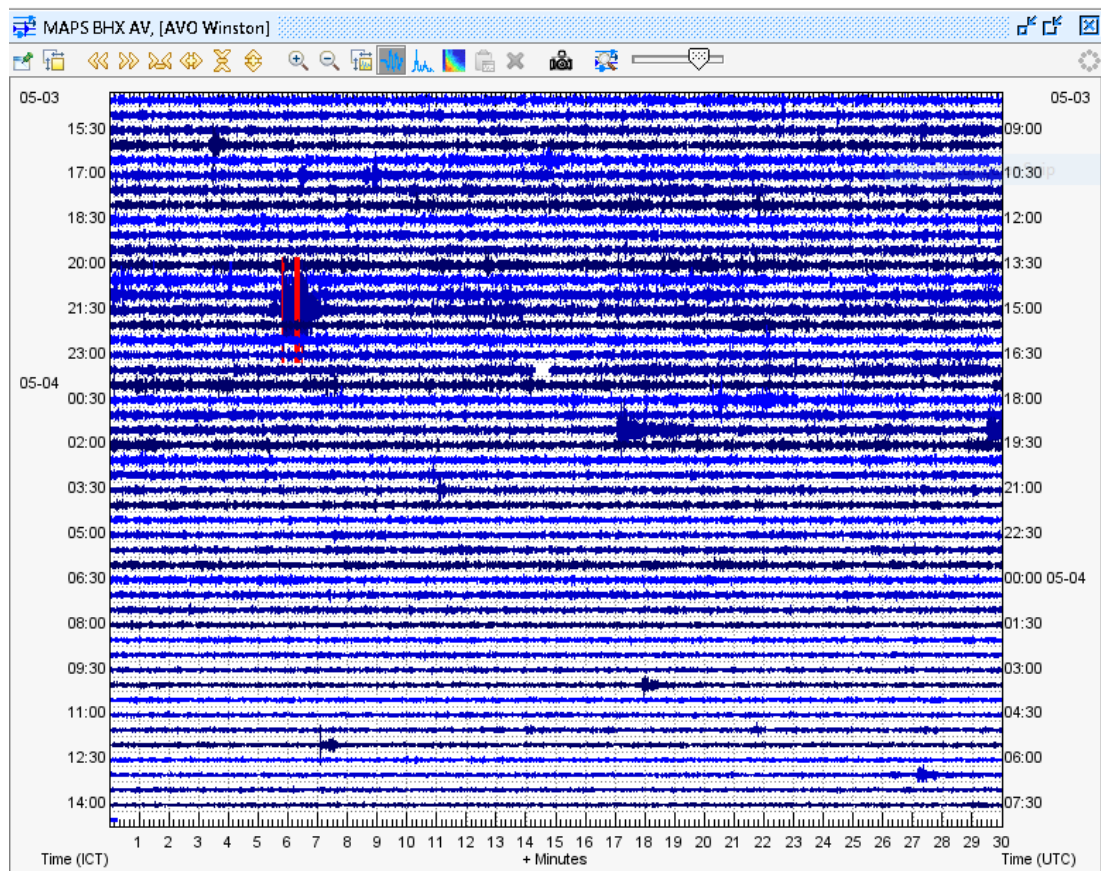
III.4 *Desain Software*

Software untuk analisis data hasil perekaman sensor didasarkan pada program Seiscomp3, yaitu program analisis data seismik yang *open-source*. Seiscomp 3 dikembangkan oleh GEOFON di pusat riset geosains Jerman. Program ini didesain

agar bisa menampilkan data seismik dari sensor, lokasi dari sensor pada suatu peta dunia, serta hasil analisis yang bisa didapatkan secara langsung dari data yang ada pada basis data. Hasil analisis itu berupa kekuatan gempa, lokasi gempa, spektrum frekuensi yang terekam, serta apakah getaran yang terekam oleh sensor merupakan gempa sungguhan atau hanya *noise* saja. Program ini dirancang agar bisa menggantikan helicorder secara mudah, murah, dan cepat.

Program ini akan ditulis dalam bahasa Java, agar mudah diintegrasikan dengan fungsi-fungsi yang ada pada Seiscomp3. Namun, Seiscomp3 hanya bisa berjalan pada sistem operasi Linux. Agar sistem bisa dijalankan pada semua sistem operasi, akan dibuat suatu program baru yang bisa dijalankan pada sistem operasi Windows, namun dengan menggunakan fungsi-fungsi yang ada pada Seiscomp3.

III.4.1 *Helicorder*



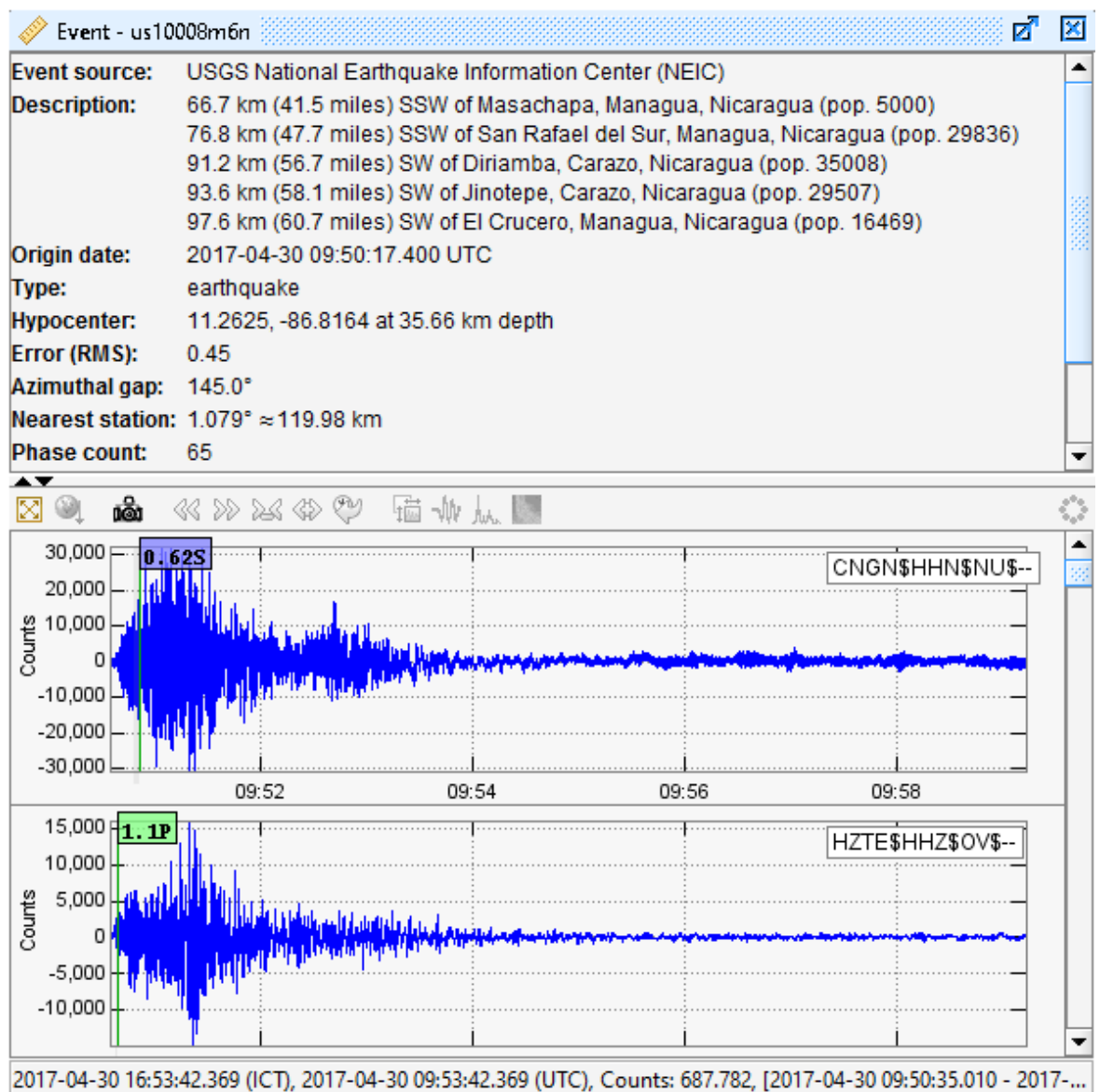
Gambar III.7 Helicorder

Helicorder adalah alat yang digunakan pada seismogram atau seismometer untuk merekam data gelombang yang didapat dari sensor. Pada zaman dahulu, helicorder mencatat gelombang dengan pensil diatas sebuah kertas. Namun, sekarang helicorder sudah diganti menjadi jenis digital, namun dengan tampilan yang dibuat mirip dengan helicorder sungguhan. Pada program ini juga dibuat tampilan data dari sensor yang dibuat mirip dengan helicorder agar memudahkan analisis oleh seismolog.

Penjelasan tampilan diatas adalah sebagai berikut. Setiap baris adalah data gelombang yang direkam selama setengah jam. Besar dari gelombang diwakili dengan warna biru, dengan warna yang semakin tua maka gelombang yang terekam pada saat itu lebih besar. Bila ada gelombang yang tidak normal terdeteksi, yaitu gelombang yang menandakan adanya gempa bumi, maka akan ditampilkan dengan warna merah. Namun, hal ini belum tentu ada gempa bumi sungguhan, karena pembacaan ini hanyalah pembacaan satu sensor. Harus ada gelombang gempa yang terdeteksi oleh banyak sensor sekaligus, sehingga gelombang tersebut dianggap sebagai gempa bumi.

III.4.2 Analisis Gempa

Untuk menentukan terjadinya gempa atau tidak serta menentukan kedalaman dan informasi lainnya digunakan fungsi yang disediakan oleh Seiscomp3. Pada GUI ini juga digunakan API dari USGS yang memungkinkan GUI untuk mengakses basis data gempa yang dimiliki USGS. Gabungan kedua informasi ini bisa menjadi sumber untuk pengecekan silang. Selain itu, data USGS juga berfungsi sebagai verifikasi untuk algoritma yang diterapkan pada Seiscomp3.



Gambar III.8 Analisis Gempa

Tampilan diatas adalah hasil dari analisis yang dilakukan oleh fungsi Seiscomp3. Di bagian bawah adalah deteksi gelombang P dan S dari *waveform*. Pada bagian atas ditampilkan detail dari gempa yang terjadi. Sumber dari informasi gempa ini adalah sensor-sensor yang dimiliki NEIC USGS (National Earthquake Information Center), yang berada di Amerika tengah, tepatnya di dekat Nicaragua. Pada bagian berikutnya ditampilkan jarak gempa tersebut dari sensor-sensor terdekat, dengan analisis berdasarkan waktu kedatangan gempa. Selanjutnya ditampilkan pusat gempa yang dihitung berdasarkan jarak dari semua sensor, dan juga dihitung kedalamannya.

Terakhir dihitung ketidakpastian dari informasi gempa seperti lokasi, yang dihitung dari faktor seperti ketidakpastian GPS, ketidakpastian tanah, serta *latency* dari server.

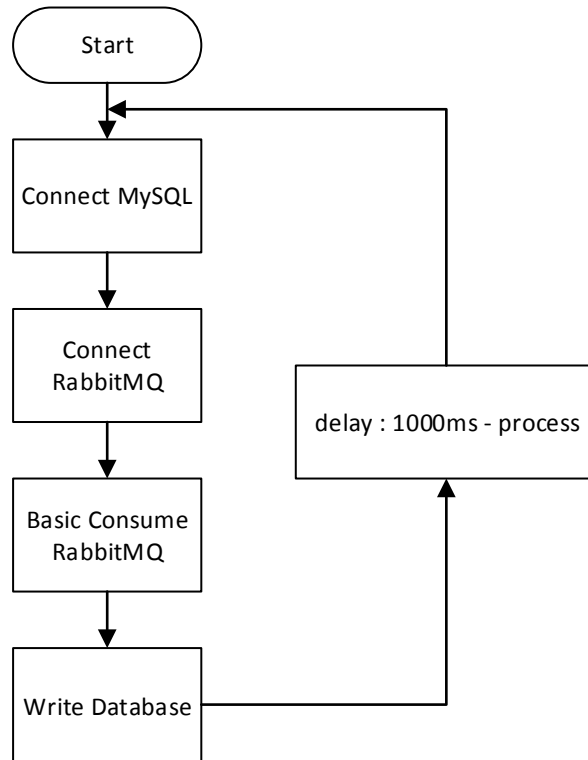
III.5 Desain Basis Data

Pada server terdapat media penyimpan data berupa database MySQL. Database MySQL dibuat untuk menyimpan data GeoJSON atau parameter-parameter yang dibutuhkan untuk analisa gempa. Penggunaan MySQL umum digunakan dalam mengimplementasikan database sehingga desain server pada proyek ini menggunakan MySQL. Oleh karena itu, akan dibuat kolom-kolom yang sesuai dengan data GeoJSON.

Data-data tersebut meliputi:

- a. Nama sensor + *Timestamp*
- b. *Time Zone*
- c. Interval waktu pengiriman
- d. Garis Lintang
- e. Garis Bujur
- f. Percepatan sumbu x
- g. Percepatan sumbu y
- h. Percepatan sumbu z

Nama sensor beserta *timestamp* akan menjadi data yang unik sehingga bisa dijadikan *primary key* untuk pengisian *query* pada *database* MySQL. Desain program untuk dapat melakukan penyimpanan pesan menuju Database adalah sebagai berikut:

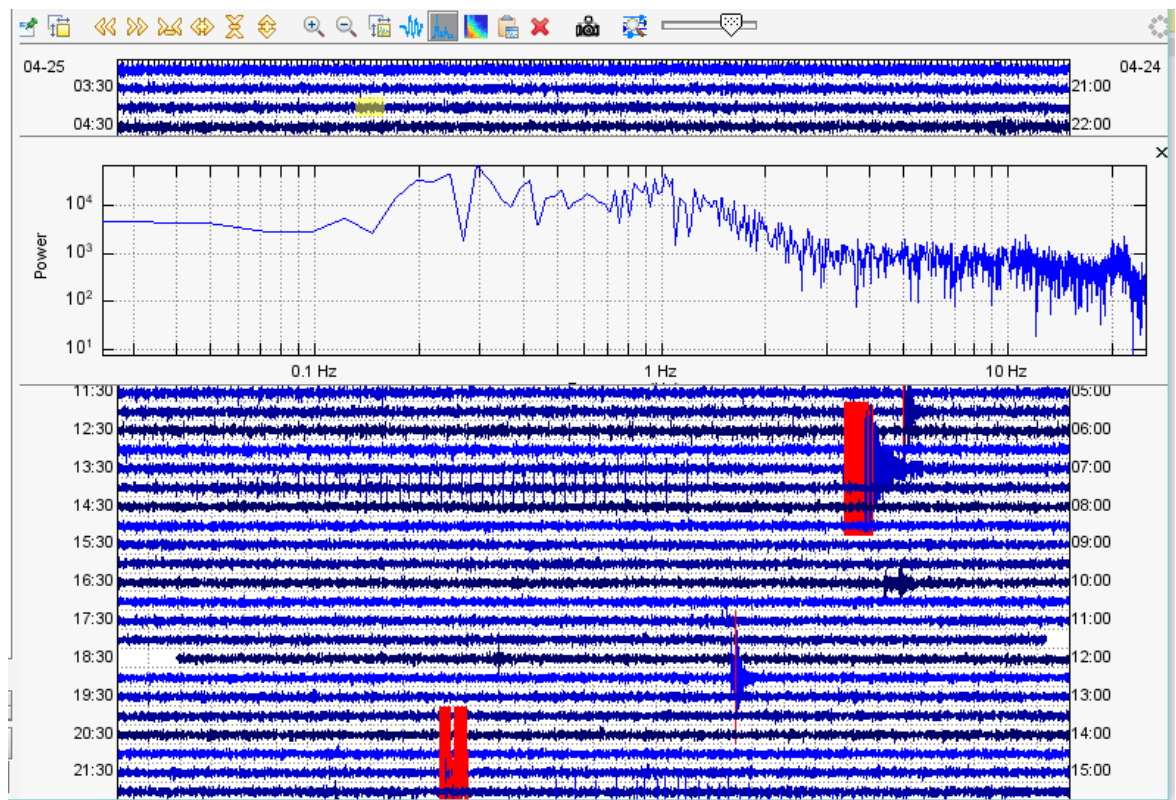


Gambar III.9 Flowchart Data

BAB IV

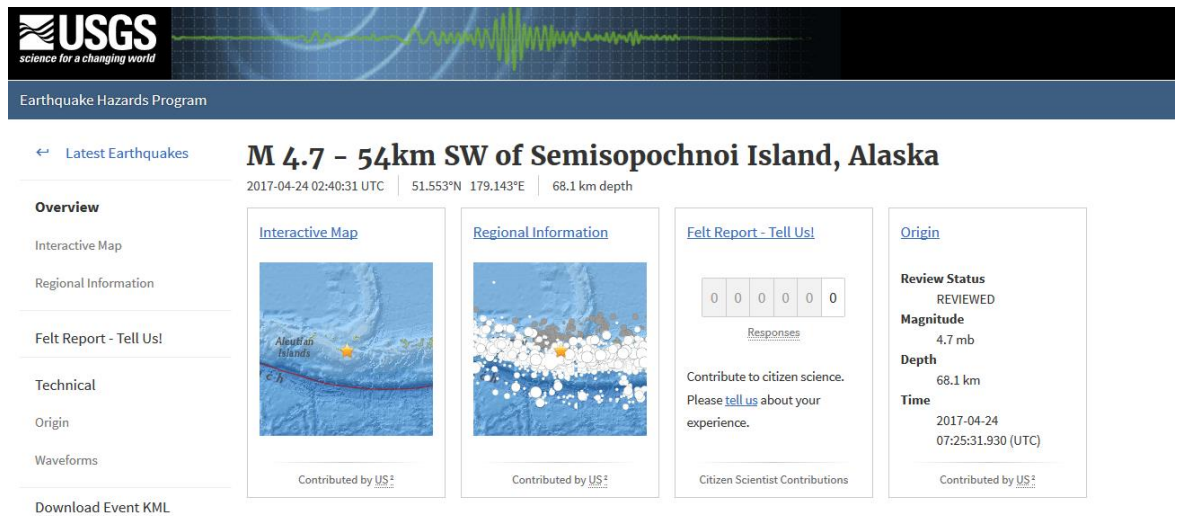
IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

IV.1 Hasil Pengujian



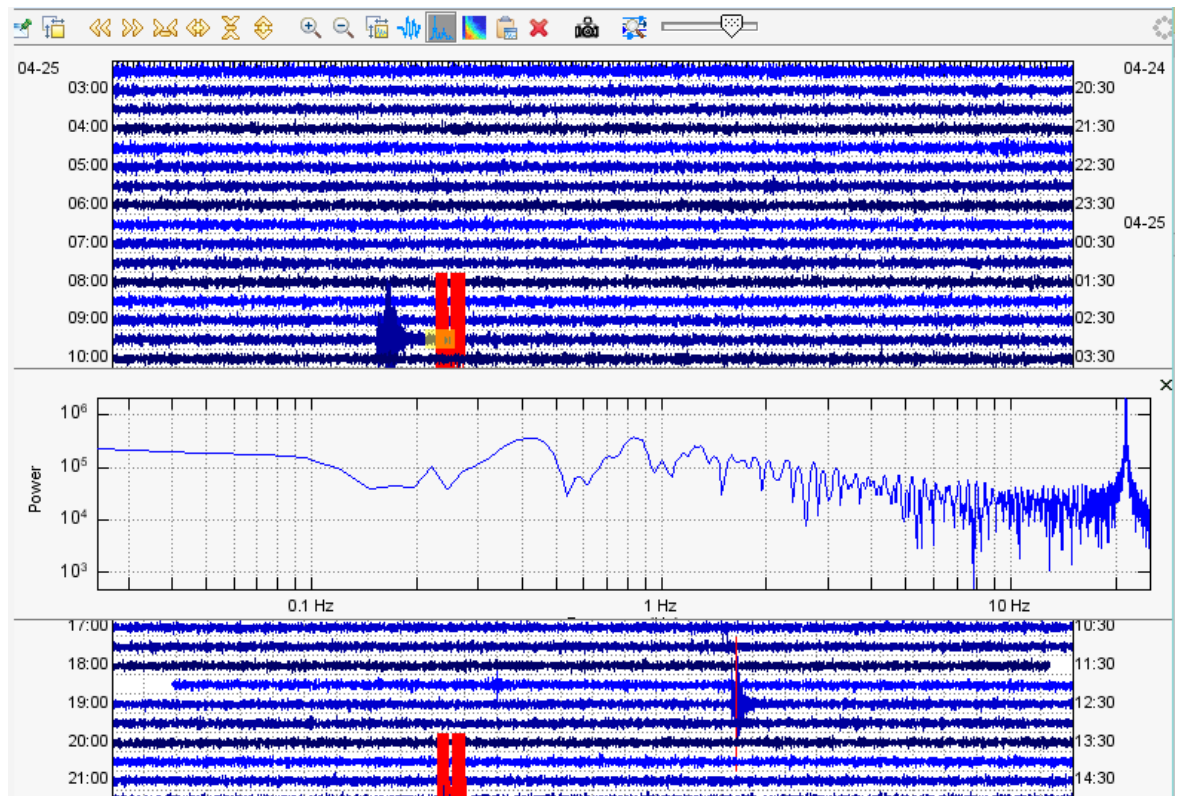
Gambar IV.1 Magnitude View

Bagian ini akan menjelaskan pengujian algoritma untuk menghitung *magnitude* dari gempa. *Magnitude* disini didasarkan pada *moment magnitude*, atau kekuatan gempa yang diukur berdasarkan jarak perpindahan lempeng tektonik, dan gaya yang dibutuhkan untuk melakukan perpindahan tersebut. Pengujian dengan metode ini dirasa lebih baik dibandingkan dengan skala *Richter*, karena skala momen lebih akurat untuk gempa dengan kekuatan besar. Pada keadaan normal, analisis menghasilkan data seperti gambar diatas. Diatas frekuensi 1-2 Hz, *magnitude* yang terukur selalu kurang dari 3, yaitu batas ketelitian sensor. Karena itu, data dengan *magnitude* dibawah 3 dianggap bukan gempa.



Gambar IV.2 Website USGS

Pada gambar diatas, terdapat data gempa yang terjadi di sekitar Alaska, pada jam 02.40 dengan kekuatan 4,7. Gempa yang sama terdeteksi pada sensor seperti yang terlihat pada gambar dibawah. Pada analisis ini, terlihat ada lonjakan pada *magnitude* gempa dengan frekuensi sekitar 11 Hz. Puncaknya sekitar *magnitude* 6, namun rata-rata dari lonjakan tersebut sekitar 5, atau tepatnya 4,93. Hal ini hampir sama dengan kesimpulan yang diperoleh USGS.



Gambar IV.3 Magnitude View Saat Gempa

Tabel dibawah menunjukkan beberapa gempa yang terjadi sebelum dokumen ini ditulis, data yang berkaitan, dan hasil analisis menggunakan algoritma kami. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa algoritma sudah cukup akurat untuk gempa diatas skala 4, namun dibawah itu hasil analisis tidak bisa diandalkan.

No	Waktu	Lokasi	Kedalaman	Magnitude USGS	Magnitude Algoritma
1	2017-04-26 07:02:28 (UTC)	53.828°N 160.645° E	39.8 km	4.9	4.8765
2	2017-04-26 15:01:49 (UTC)	51.817°N 179.367° W	96.1 km	2.9	3.5638
3	2017-04-26 09:14:23 (UTC)	58.548°N 153.567° W	66.8 km	2.9	3.3653
4	2017-04-27 02:12:44 (UTC)	59.750°N 153.179° W	101.6 km	2.5	3.3673
5	2017-04-27 05:08:39 (UTC)	63.532°N 148.976° W	9.4 km	3.3	3.6563

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://www.codeproject.com/Articles/1117162/Detecting-Seismic-Waves-with-Android-and-IOT>, Diakses pada 18 September 2016.
- [2] Taufique Z. Redhwan, "A Neyman-Pearson approach to the development of low cost earthquake detection and damage mitigation system using sensor fusion", Electronics, Circuits and Systems (ICECS), 2014 21st IEEE International Conference on, 2014.
- [3] Dominguez, L.A., Yildirim, B., Husker, A.L., Cochran, E.S., Christensen, C.M., Cruz-Atienza, V.M., and Lawrence, J.F., The Red Atrapa Sismos (Quake Catcher Network in Mexico): Assessing performance during large and damaging earthquakes, *Seis. Res. Letts.*, 86, 848-855, 2015.
- [4] Yildirim, B., Cochran, E.S., Chung, A.I., Christensen, C.M., and Lawrence, J.F., On the reliability of Quake Catcher Network earthquake detections, *Seis. Res. Letts.*, 86, 856-869, 2015.
- [5] Neighbors, C., Liao, E.J., Cochran, E.S., Funning, G.J., Chung, A.I., Lawrence, J.F., Christensen, C., Miller, M., Belmonte, A., and Sepulveda, H.H.A., Investigation of the high-frequency attenuation parameter, kappa, from aftershocks of the 2010 Mw8.8 Maule, Chile earthquake, *Geophys. J. Int.*, 200, 200-215, doi: 10.1093/gji/ggu390, 2015.
- [6] Lawrence, J.F., Cochran, E.S., Chung, A., Kaiser, A., Christensen, C.M., Allen, R., Baker, J.W., Fry, B., Heaton, T., Kilb, D., Kohler, M.D., Taufer, M., Rapid Earthquake Characterization Using MEMS Accelerometers and Volunteer Hosts Following the M 7.2 Darfield, New Zealand, Earthquake, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 104, 184-192, 2014.

LAMPIRAN