

SEISMIC SENSOR DESIGN AND IMPLEMENTATION ON EARTHQUAKE AND TSUNAMI DETECTOR NETWORK AND DECISION SUPPORT SYSTEM

Bramantio Yuwono^{1,a}, Ary Setijadi Prihatmanto^{2,b}, Aciek Ida Wuryandari^{2,c}

¹Electrical Engineering, School of Electrical Engineering and Informatics, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 40132, Indonesia.

²Control and Computer Systems Laboratory, School of Electrical Engineering and Informatics, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 40132, Indonesia.

^aEmail: bramantio.yuwono@s.itb.ac.id

^bEmail: asetijadi@lssk.ee.itb.ac.id

^cEmail: aciek@lssk.ee.itb.ac.id.

Abstract— The ECN (Earthquake Catcher Network) Seismic Sensor is a sensor that can read the acceleration of ground vibration, timestamp, and sensor location data and then send the reading data to the server with MQTT protocol using Wi-Fi connection. The seismic sensor consists of IMU (Inertial Measurement Unit) sensors, GPS module (Global Positioning System) and power system. The IMU sensor is used for sampling of ground vibration acceleration with 40 Hz sampling frequency and is also used to perform magnetometer data reading as sensor orientation adjustment. The GPS module is used to obtain the latitude and longitude readings of sensor and timestamp which consist of data of seconds, minutes, hours, days, months, and years. The power system consisting of solar panels, charging modules, and li-ion batteries serves to supply independent sensor power that ensures the sensor is supplied for 24 hours per day. The result of this sensor implementation is the sampling of ground vibration acceleration data with 40 Hz sampling frequency can not be done perfectly because the time of data delivery to the server takes longer than sampling time and ECN sensor can last for 24 hours with using power system which have been designed.

Keywords— Seismic Wave, GPS Module, IMU Sensor, ECN Seismic Sensor, Solar Panel

I. INTRODUCTION

ECN is a subsystem of earthquake and tsunami detector decision support system system that aims to disseminate when earthquake or tsunami occurs in a more efficient and effective way from existing system. Here is a diagram of the earthquake detection system and tsunami decision support system.

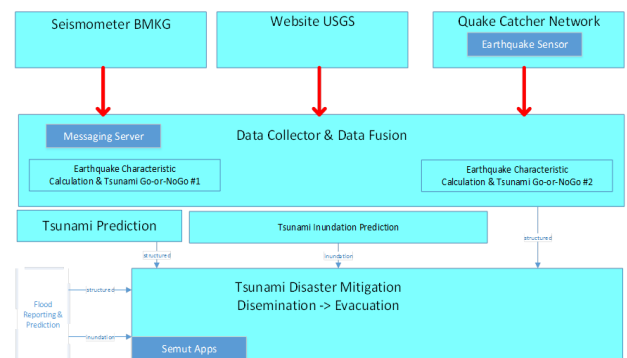


Figure 1.1 earthquake and tsunami detector decision support system diagram

Can be seen in the figure diagram, ECN is a data retrieval system (BMKG Seismometer, Website USGS, Earthquake Sensor, and Data Collector & Fusion). A more detailed diagram of the ECN system can be seen in the following figure.

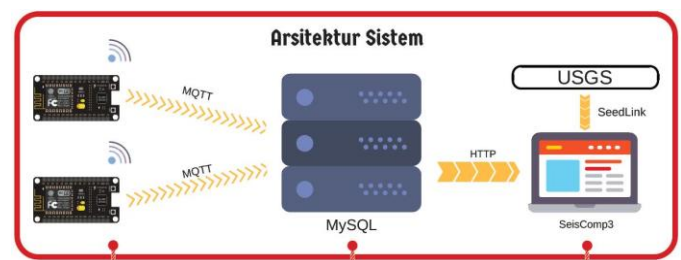


Figure 1.2 ECN System Architecture

The ECN system consists of three parts, Seismic Sensor, Server and Database and Processing. Seismic sensors function is to perform seismic data readings from multiple locations, sensor locations, and timestamp and then send the data to the server. Server and Database function is to store data from the seismic sensor and store the data for the processing can use the data. Processing section function is to process the data stored in the database and provide notification when an earthquake occurs. ECN seismic data analysis is only limited to detect earthquakes.

In this paper, discussion focused on ECN seismic sensors only. With the functions already described, ECN seismic sensors must meet the following specifications.

- Can send data in real time (sampling frequency of 40Hz)
- The sensor should work 24 hours a day
- Seismic sensor price is cheaper than actual seismometer or 1/100th of seismometer price in general or 3 million rupiah
- The sensor can detect earthquakes with magnitude above 4 at a radius of 100 km

II. DESIGN

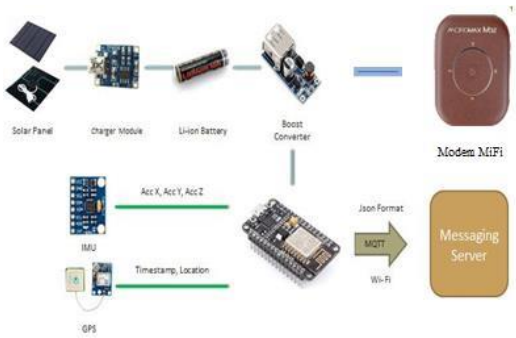


Figure II.1 ECN Seismic Sensor Diagram

ECN Seismic Sensor consists of a power system to assured the sensor is supplied for 24 hours on a daily basis (consists of a Solar Panel, Charger Module, Li-ion Battery, and Boost Converter), IMU sensors to read seismic data and orientation adjustment using a magnetometer, and a GPS module used to read timestamp and sensor location data. MiFi Modem is used as a Wi-Fi connectionprovider to ECN seismic sensors. For more detailed design can be seen in the next section.

A. Sensor Algorithm

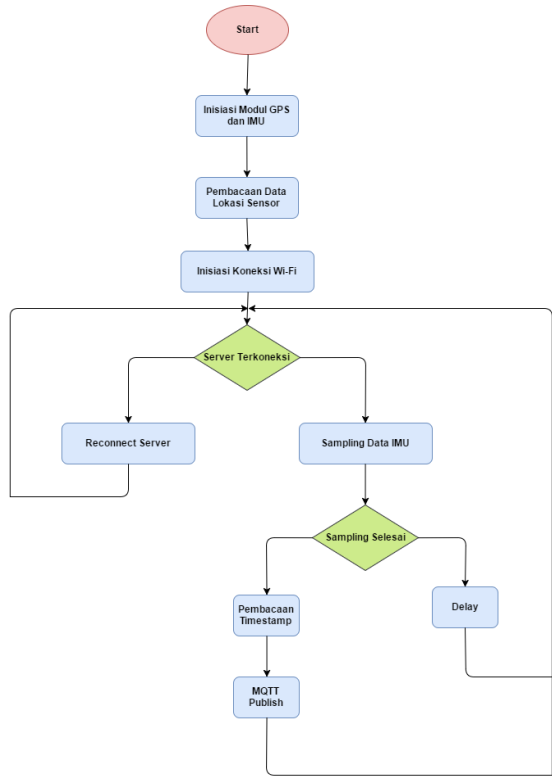


Figure II.2 ECN Seismic Sensor Flowchart

The image above is a core algorithm of ECN Seismic Sensor. At the beginning,program starts an initiation to make GPS module, IMU, and Wi-Fi connection can be used. The latitude and longitude readings are read only in the beginning. In the loop() the sensor will check whether the sensor is connected to the server, otherwise the sensor will reconnect to the server again until the sensor is connected to the server. When server is connected, the sensor will perform sampling acceleration data with a certain period in accordance with its sampling frequency. Once the sampling process is finished, the publishing message to the messaging server via the MQTT protocol will be performed. But prior to publish process, timestamp reading from GPS is performed. After the publish is complete, the sensor will repeat the process that has been described from the beginning again. If during the sampling process, the sensor connection with the server is disconnected, then the sensor will remove the sampling data that has been collected and will repeat the sampling process from the beginning again and no data sampling is lost in the middle when the data is sent to the server so that the connection to the server does not eliminate the validity of the sampling data.

1) IMU MPU9255 Sensor Reading Algorithm

The process of reading IMU done with several stages as follows.

1. IMU sensor initialization on setup (), done some configuration of IMU sensor, like accelerometer readout setting range to $\pm 2g$ and sampling frequency in MPU9255 digital module low pass filter setting at frequency 20 Hz
2. Accelerometer data reading is done from the register 0x3B to 6 registers thereafter in device address 0x68
3. Magnetometer data reading is done from the register 0x03 to 6 registers thereafter in device address 0x0C
4. Sensor reading adjustment based on compass direction is performed

In the implementation of MPU9255 IMU algorithm, sensor readings algorithm used Wire.h as a library that can implement I2C IMU sensor communication. The reading range is set to $\pm 2g$ because the range can be detected by earthquakes with magnitude above 4 within 100 km radius.^[9] So the readout resolution of accelerometer and magnetometer becomes as follows.

$$ACC_{RES} = \frac{2}{2^{16-1} - 1} = 6.10388817677e - 05g$$

$$MAG_{RES} = \frac{4800}{2^{16-1} - 1} = 0.149540696432 \mu T$$

So we can get accelerometer and magnetometer data in g and μT with the following equation.

$$acc[x, y, z] = ACC_{RES} * (acc_{highbyte} \ll 8 | acc_{lowbyte})$$

$$mag[x, y, z] = MAG_{RES} * (mag_{highbyte} \ll 8 | mag_{lowbyte})$$

Digital module low pass filter MPU 9255 at frequency 20 Hz activated and adjusted to the maximum frequency of seismic wave that is 20 Hz. Before setting the orientation of the sensor based on the direction of the north wind, tilt compensation of the magnetometer first done because of the limitations of magnetometer sensor readings when the sensor z axis is not parallel to the direction of gravity. Tilt compensation is done by implementing the following equation.

$$axf = \text{atan}\left(\frac{acc_x}{\sqrt{acc_y^2 + acc_z^2}}\right)$$

$$ayf = \text{atan}\left(\frac{acc_y}{\sqrt{acc_x^2 + acc_z^2}}\right)$$

$$mxh = my * \cos(ayf) + my * \sin(ayf) \sin(axf) - mz * \cos(axf) \sin(ayf)$$

$$myh = my * \cos(axf) + mz * \sin(axf)$$

Keterangan :

- Accx is accelerometer reading in x axis
- Accy is accelerometer reading in y axis

- Accz is accelerometer reading in z axis
- Axf is IMU sensor yaw degree
- Ayf is IMU sensor pitch degree
- Mx is magnetometer reading in x axis
- My is magnetometer reading in y axis
- Mz is magnetometer reading in z axis
- Mxh is magnetometer reading in x axis with tilt compensation
- Myh is magnetometer reading in y axis with tilt compensation

After the tilt compensation is applied to the magnetometer readings, we can obtain the angle difference between the x axis of the sensor with the north direction with the following equation.

$$\theta_{compass} = \text{atan}\left(\frac{myh}{mxh}\right)$$

Already obtained the difference of angle between the x axis of the sensor with the north direction, we can get acceleration data which orientation is adjusted to the direction of compass by using linear rotation transformation using the transformation matrix as follows.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

Figure II.3 Linear Transformation

$$acc'_x = acc_x * \cos(\theta_{compass}) - acc_y * \sin(\theta_{compass})$$

$$acc'_y = acc_x * \sin(\theta_{compass}) + acc_y * \cos(\theta_{compass})$$

Keterangan

- Acc_x' is adjusted accelerometer reading in x axis
- Acc_y' is adjusted accelerometer reading in y axis

2) GPS Reading Algorithm

In the implementation of GPS readings, SoftwareSerial.h library and TinyGPS ++. H is used. Serial software libraries are used for porting GPIO pins to be used as serial communication pin. It takes another GPIO pin port as serial communication pins intended to ease troubleshooting with the NodeMCU default serial pins. While the library TinyGPS ++ is used to read GPS data with NMEA format via serial communication pins that have been declared.

Implementation of latitude and longitude readings is done at the beginning of the algorithm so it is executed only once. The readings of latitude and longitude are limited only within a certain time interval determined by a constant variable. The data timestamp is the year, month, day, hour, minute, and seconds and arranged into Javascript timestamp format on a string type to ease the processing in the server

3) Json Format Algorithm

IMU and GPS sensor data is arranged into a certain Json format by string concatenation in order to ease the parsing process on the server and database. Here is the Json format used in ECN seismic sensor.

```
{
  "pointTime": "",
  "timeZone": "Asia/Jakarta",
  "interval": 1000,
  "clientId": "ECN-1",
  "geojson": {
    "geometry": {
      "type": "Point",
      "coordinates": [125.6, 10.1]
    },
    "properties": {
      "name": "ITB"
    }
  },
  "accelerations": [
    {
      "x": -0.1243,
      "y": 14.6464725,
      "z": -12.5433
    }
  ]
}
```

4) Char Representation Algorithm

To reduce the length of the message that being sent to the server so the time required to send message to server is also reduced, a change of representation from the float type acceleration data into a char data type. Char representation scheme can be seen in the following figure.

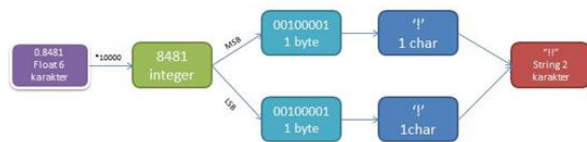


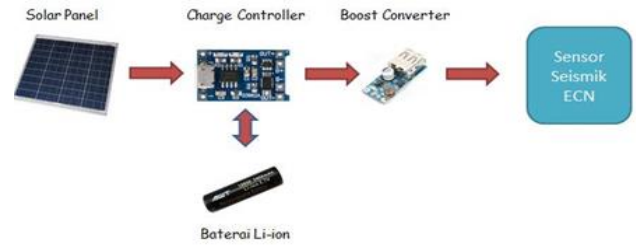
Figure 11.4 Char Representation Scheme

5) MQTT Publish Algorithm

PubSubClient.h library is used in MQTT Publish process. The quality of service used on the ECN seismic sensor is 1 or "At least once" because the sensor must keep updating the accelerated data to the server and cannot missing a single data message. Some of the MQTT parameters are as follows.

- MQTT server : "167.205.7.226"
- Server topic : "amq.topic.ecn"
- Client ID : "ECN-" + SensorID
- MQTT username : "/disaster:sensor_gempa"

B. Power System



Gambar 11.5 Rangkaian Sistem Daya

The initial design used the power system circuit as above. Fixed designs can be determined when tested. The following explanation of the function and specifications of the components used.

- Solar Panel 5 Volt 4 W, used as a power source that can charge the battery during daylight hours.
- TP4056 Charge Controller, used to adjust the Li-ion battery charging level. Can only receive a maximum current of 1A from a power source.
- Li-ion battery 3.7 Volt 3400 mAh, used to store power provided by solar panels during the day and supply power to ECN seismic sensors at night
- 0.9 ~ 5 Volt Boost converter, used to stabilize the applied voltage to the ECN seismic sensor

C. ECN Seismic Sensor Installation Scheme

ECN seismic sensors are designed to be located in areas far from people and animals but are still reachable by people to prevent noise from other people or animals. In its implementation, PCB board and Casing made of ABS plastic for robust sensor are used. Here is the design of PCB board and Casing used.

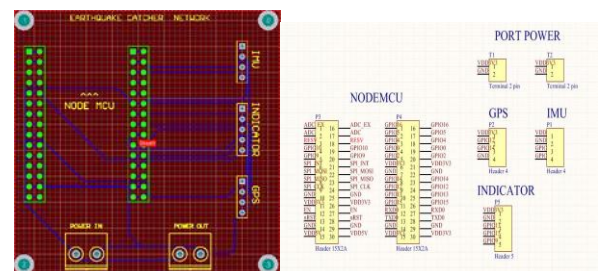


Figure 11.6 ECN Seismic Sensor PCB Design

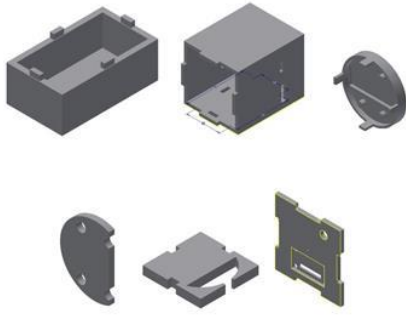


Figure II.7 ECN Seismic Sensor Casing Design

Here is the ECN seismic sensor full installation scheme.

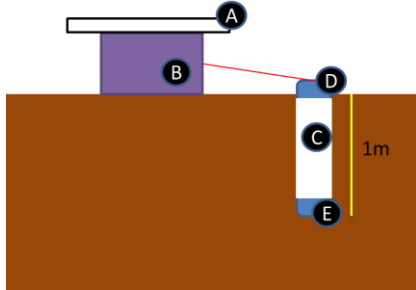


Figure II.8 ECN Seismic Sensor Installation Scheme

IMU sensors are placed inside the soil in part (E) with a depth of 1m so the sensor is not sensitive to noise such as the pounding of the legs and connected to PVC pipes (C) closed with (D) at the top. The IMU sensor is connected to the main module (B) with using a long cable through a PVC pipe (C). In the main module (B) there is a PCB Board that already been connected with NodeMCU, GPS module, MiFi module, and power system. Solar Panel (A) is placed above the main module to get maximum sunlight intensity.

III. IMPLEMENTATION AND TESTING

Several tests to measure and calibrate ECN seismic sensors is performed, which is to test the accuracy of latitude and longitude readings on GPS module, calibration seismic wave acceleration data on MPU9255 IMU sensors readings, algorithm process duration testing of some algorithms with some functional processes (IMU, GPS, Publish MQTT), and Power System.

A. GPS Latitude and Longitude Accuracy Testing

GPS accuracy testing is done by measuring GPS readings at a certain point by using the Ublox Neo-6m GPS module and compared to Google Maps longitude and latitude data readings at the same point. GPS testing is done at several points in the labtek VIII ITB, Labtek VII ITB, East GKU ITB, and ITB Doping Laboratory area.

The error obtained from the latitude reading in the Neo 6M GPS module is 0,000049 and the error of the longitude reading on the Neo 6M GPS module is 0,000048. On the equator, 1 degree of latitude is proportional to 110.57 km and 1 degree longitude is proportional to 111.32 km. So it can be concluded

that latitude and longitude error of reading the GPS module Neo 6M is 5.41793 m and 5.34336 m. With known error and seismic wave velocity data range between 2-8 km / h, the time error is in the range of 2.385 - 9.72 s. The result of this time error is entered as the input of the function in the SeisComp3 application to determine the error of earthquake location analysis. Obtained error is about 100m so it can be concluded that this error is understandable because the earthquake location data is usually delivered as information to the people in km units.

B. Kalibrasi Pembacaan Accelerometer MPU9255

The accelerometer calibration of MPU9255 is done by comparing the MPU9255 accelerometer reading results with vibration wave data from earthquake exciter. Here is the MPU9255 accelerometer calibration scheme.

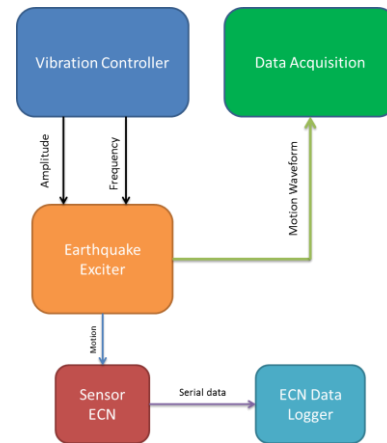


Figure III.1 MPU9255 Accelerometer Calibration Scheme

Vibration controller is used to set the earthquake exciter frequency and magnitude wave and validated by data acquisition. The ECN seismic sensor is placed on an earthquake exciter and data readings recorded by the ECN data logger GUI. From the results of these readings, the sinusoidal interpolation in the data that has been obtained is performed so sensitivity sensors on certain amplitude and frequency is obtained. Interpolated data will be compared at 0.5G, 1.0G, and 1.5G amplitude at 5 Hz, 10 Hz, and 15 Hz frequencies. After interpolation it can be concluded that the reading relationships at different amplitude and in same frequency is linear, whereas reading at the same amplitude at different frequencies does not result different reading interpolation results. The sensitivity data obtained is implemented on the processing system using SeisComp3.

C. Pengujian Lama Proses Algoritma

The algorithm-process duration test is performed by inserting millis () functions before and after the algorithm of a certain process (IMU readings, GPS readings, and publish MQTT). Retrieved the process of reading GPS takes the most slightly time with a range of between 0-4 ms, because GPS reading process is only done once per one second then the duration of the GPS reading process does not interfere with the IMU data reading sampling process. While IMU reading

process duration took between 1-18 ms. Because the sensor should be able to do sampling with a frequency of 40 Hz or once every 25 ms then the IMU reading process duration applied in the ECN seismic sensor still makes the sensor can perform IMU data sampling with period 25 ms or frequency 40 Hz. It can be seen that in not waiting for RabbitMQ queue condition, the delivery process takes quite a long process which is between 206-322 ms. This is quite disturbing IMU reading process, because when the sensor publish message to RabbitMQ, data sampling process will stop during the publish message process. So the algorithm implementation should use multi-tasking programming so that the sensor can do sampling with 40 Hz frequency without interruption.

D. Power System Testing

Several power system tests is performed as follows.

- Tests to determine the minimum battery voltage value when ECN seismic sensors can not work. It can be done with battery voltage observation when ECN seismic sensor starts to stop working.
- Testing to determine the value of battery voltage when in full capacity condition. The test is done by observing the battery voltage at full capacity condition when charging by solar panel, full capacity condition is indicated by the blue LED indicator light on charge controller module.
- Testing to determine the duration of time required for charging the battery from empty condition until full capacity condition

Battery voltage at full capacity is 3.55 Volts and when empty is 2.8 Volt then the duration required to charge the battery from empty condition until full capacity is 2 hours. The battery life to supply ECN seismic sensors from full capacity conditions is 13 hours, it can be concluded that battery configuration of twice the battery capacity from the time of test, 13600 mAh is and twice the power supply of the test power supply, 8 Wp is required.

So the power system circuit becomes as follows.

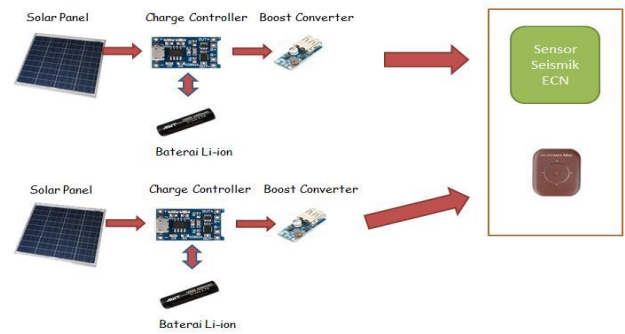


Figure III.2 ECN Seismic Sensor Power System Circuit

IV. CONCLUSION

Designed sensors is meet the price specification because it only takes cost of Rp2.280.000,00 to create an ECN sensor. Sensors can detect earthquakes with magnitude above 4 within 100 km radius because the IMU sensors used already meet the required specification resolution and sensor readings have been calibrated. The power sensor can work for 24 hours by implementing a power system design with a Li-ion battery configuration of 13600 mAh capacity and a total power supplied is 5 Wp from solar panels. Sensors can not perform seismic data sampling with 40 Hz frequency without interruption due to single-task programming algorithm, but the missing sampling time can be reduced by converting the float representation into a char representation on the message that sent to the server.

REFERENCES

- [1] Ai Thinker Team (2015). ESP8266 WROOM WiFi Module Datasheet
- [2] http://nodemcu.com/index_en.html, diakses pada tanggal 9 Mei 2017 pada pukul 16.49
- [3] InvenSense (2014). MPU-9255 Product Specification DS-000007
- [4] U-blox (2011). U-blox 6 GPS Modules Data Sheet GPS.G6-HW-09005-E
- [5] Banks, Andrew & Gupta, Rahul (2014). MQTT Version 3.1.1, OASIS Standard
- [6] Chester Simpson (2011). Characteristics of Rechargeable Batteries SNVA533
- [7] Winter, M. & Brodd, J. (2004). "What Are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors?"
- [8] NanJing Top Power ASIC Corp .TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8
- [9] Oswal, Mehul dkk. (2010). A comparative study of Lithium-Ion Batteries
- [10] Evans, J.R., Allen, R.M., Chung, A.I., Cochran, E.S., Guy, R., Hellweg, M., Lawrence, J.F., Performance of Several Low-Cost Accelerometers, Seism. Res. Letts., 85, 147-158, 2014.

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SENSOR SEISMIK ECN PADA SISTEM JARINGAN DETEKTOR GEMPA DAN TSUNAMI DECISION SUPPORT SYSTEM

Bramantio Yuwono^{1,a}, Ary Setijadi Prihatmanto^{2,b}, Aciek Ida Wuryandari^{2,c}

¹Teknik Elektro, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 40132, Indonesia.

²Laboratorium Sistem Kendali dan Sistem Komputer, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 40132, Indonesia.

^aEmail: bramantio.yuwono@s.itb.ac.id

^bEmail: asetijadi@lskk.ee.itb.ac.id

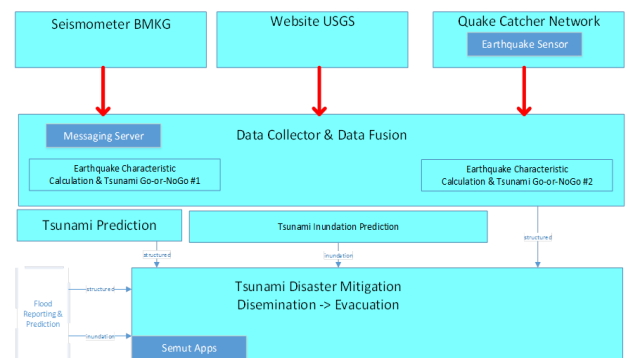
^cEmail: aciek@lskk.ee.itb.ac.id.

Abstrak—Sensor Seismik ECN (Earthquake Catcher Network) merupakan sensor yang dapat melakukan pembacaan percepatan getaran tanah, timestamp, dan data lokasi sensor lalu dikirimkan data hasil pembacaan tersebut ke server dengan protokol MQTT dengan menggunakan koneksi Wi-Fi. Sensor seismik terdiri dari sensor IMU (Inertial Measurement Unit), modul GPS (Global Positioning System) dan sistem daya. Sensor IMU digunakan untuk melakukan sampling percepatan getaran tanah dengan frekuensi sampling 40 Hz dan digunakan juga untuk melakukan pembacaan data magnetometer sebagai pengaturan orientasi sensor. Modul GPS digunakan untuk memperoleh pembacaan data latitude dan longitude letak sensor dan timestamp yang terdiri dari data detik, menit, jam, hari, bulan, dan tahun. Sistem daya yang terdiri dari solar panel, charging module, dan baterai li-ion berfungsi untuk menyuplai daya sensor mandiri yang memastikan sensor tersuplai daya selama 24 jam setiap harinya. Hasil dari implementasi sensor ini adalah sampling data percepatan getaran tanah dengan frekuensi sampling 40 Hz tidak dapat dilakukan dengan sempurna dikarenakan waktu pengiriman data ke server membutuhkan waktu yang lebih lama dari waktu sampling dan sensor ECN dapat bertahan selama 24 jam dengan menggunakan sistem daya yang telah didesain.

Kata Kunci— Gelombang Seismik; Modul GPS; Sensor IMU; Sensor Seismik ECN; Solar Panel

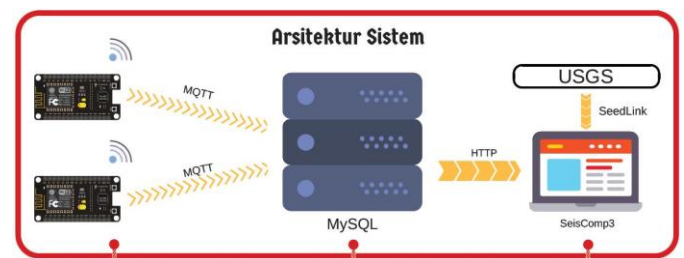
I. PENDAHULUAN

ECN merupakan subsistem dari sistem jaringan detektor gempa dan tsunami decision support system yang bertujuan sebagai sistem yang dapat melakukan proses diseminasi ketika gempa atau tsunami terjadi dengan cara yang lebih efisien dan efektif dari sistem yang sudah ada. Berikut adalah diagram sistem jaringan detektor gempa dan tsunami decision support system.



Gambar 1.1 Diagram Sistem Jaringan Detektor Gempa & Tsunami Decision Support System

Dapat dilihat pada gambar diagram tersebut, ECN merupakan sistem pengambilan data (Seismometer BMKG, Website USGS, Earthquake Sensor, dan Data Collector & Fusion). Diagram lebih detail dari sistem ECN dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1.2 Arsitektur Sistem ECN

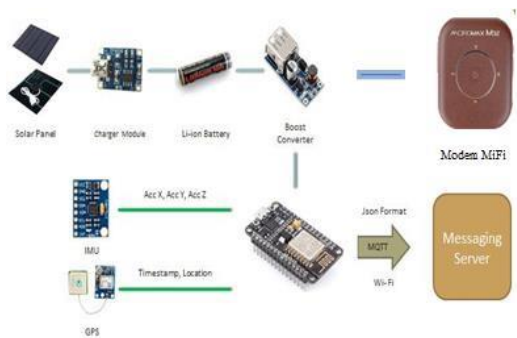
Sistem ECN terdiri dari tiga bagian, yaitu Sensor Seismik, Server dan Database serta Processing. Sensor Seismik berfungsi untuk melakukan pembacaan data seismik dari beberapa lokasi, lokasi sensor, dan timestamp lalu mengirimkan data tersebut ke server. Server dan Database berfungsi untuk menyimpan data dari sensor seismik lalu menyimpan agar bagian processing dapat menggunakan data

tersebut. Bagian Processing berfungsi untuk mengolah data yang tersimpan pada database dan memberikan alarm ketika terjadi gempa. Pada ECN analisis data seismik hanya dibatasi untuk mendeteksi gempa.

Pada makalah ini, pembahasan difokuskan pada sensor seismik ECN saja. Dengan fungsi yang sudah dijelaskan, sensor seismik ECN harus dapat memenuhi spesifikasi sebagai berikut.

- Dapat mengirimkan data secara real time (frekuensi sampling pembacaan data 40Hz)
- Sensor harus dapat bekerja selama 24 jam pada setiap harinya
- Harga sensor seismik lebih murah daripada harga seismometer yaitu 1/100 dari harga seismometer pada umumnya atau seharga 3 juta Rupiah
- Sensor dapat mendeteksi gempa dengan magnitude diatas 4 pada radius 100 km

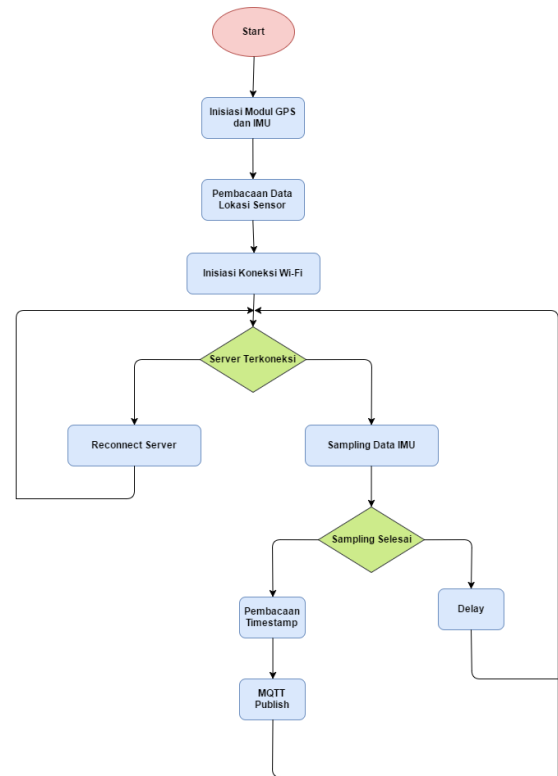
II. PERANCANGAN



Gambar II.1 Diagram Sensor Seismik ECN

Sensor Seismik ECN terdiri dari sistem daya yang berfungsi untuk membuat sensor disuplai selama 24 jam pada setiap harinya dan terdiri dari Solar Panel, Charger Module, Baterai Li-ion, dan Boost Converter, sensor IMU yang berfungsi untuk membaca data percepatan getaran tanah/data seismik dan melakukan pengaturan orientasi dengan menggunakan magnetometer, dan modul GPS yang digunakan untuk membaca timestamp dan data lokasi sensor. Digunakan Modem MiFi sebagai penyedia koneksi Wi-Fi kepada sensor seismik ECN. Untuk perancangan lebih detail lagi dapat dilihat pada bagian selanjutnya.

A. Algoritma Sensor



Gambar II.2 Flowchart Sensor Seismik ECN

Gambar diatas merupakan algoritma khusus dari Sensor Seismik ECN. Pada awal mula program dilakukan inisiasi untuk membuat modul GPS, IMU, dan koneksi Wi-Fi dapat digunakan. Dilakukan juga pembacaan latitude dan longitude sehingga pembacaan data lokasi sensor hanya dilakukan pada awal program saja. Pada bagian loop() sensor akan melakukan pemeriksaan apakah sensor terhubung ke server, jika tidak sensor akan melakukan percobaan koneksi ke server ulang sampai sensor terkoneksi dengan server. Ketika sudah terkoneksi dengan server, sensor akan melakukan sampling data percepatan dengan periode tertentu sesuai dengan frekuensi sampling-nya. Ketika telah diperoleh jumlah sampling yang diinginkan maka akan dilakukan proses publish message ke messaging server dengan melalui protokol MQTT. Tetapi sebelum dilakukan publish, dilakukan terlebih dahulu pembacaan Timestamp dari GPS. Setelah proses publish selesai dilakukan, sensor akan mengulangi proses yang sudah dijelaskan dari awal kembali. Jika saat proses sampling dilakukan, koneksi server dengan sensor terputus, maka sensor akan menghapus data sampling yang sudah dikumpulkan dan akan mengulangi proses sampling dari awal kembali dan tidak ada data sampling yang hilang ditengah-tengah saat data tersebut dikirimkan ke server sehingga terputusnya koneksi ke server tidak mengurangi validitas data hasil sampling.

1) Algoritma Pembacaan Sensor IMU MPU9255

Proses pembacaan IMU dilakukan dengan beberapa tahap sebagai berikut.

1. Inisialisasi sensor IMU pada bagian setup(), dilakukan beberapa konfigurasi sensor IMU, yaitu pengesetan *range* pembacaan *accelerometer* menjadi $\pm 2g$ dan pengesetan frekuensi *sampling* pada modul *digital low pass filter* MPU9255 pada frekuensi 20 Hz
2. Pembacaan data *Accelerometer* dilakukan dari *register* 0x3B sampai 6 *register* setelahnya pada *device address* 0x68
3. Pembacaan data *Magnetometer* dilakukan dari *register* 0x03 sampai 6 *register* setelahnya pada *device address* 0x0C
4. Dilakukan pengaturan orientasi sensor yang berdasarkan arah mata angin utara

Pada implementasi algoritma pembacaan sensor IMU MPU9255 dimanfaatkan library Wire.h sebagai *library* yang dapat mengimplementasikan komunikasi I²C sensor IMU. *Range* pembacaan diatur menjadi $\pm 2g$ dikarenakan dengan *range* tersebut dapat dideteksi gempa dengan *magnitude* diatas 4 dalam radius 100 km berdasarkan ^[9]. Sehingga resolusi pembacaan *accelerometer* dan magnetometer menjadi sebagai berikut.

$$ACC_{RES} = \frac{2}{2^{16-1} - 1} = 6.10388817677e - 05g$$

$$MAG_{RES} = \frac{4800}{2^{16-1} - 1} = 0.149540696432 \mu T$$

Sehingga dapat diperoleh data *accelerometer* dan magnetometer dalam g dan μT dengan persamaan sebagai berikut.

$$acc[x, y, z] = ACC_{RES} * (acc_{highbyte} \ll 8 \mid acc_{lowbyte})$$

$$mag[x, y, z] = MAG_{RES} * (mag_{highbyte} \ll 8 \mid mag_{lowbyte})$$

Diaktifkan modul *digital low pass filter* MPU 9255 pada frekuensi 20 Hz disesuaikan dengan frekuensi maksimum gelombang seismik yaitu 20 Hz. Sebelum dilakukan pengaturan orientasi sensor berdasarkan arah mata angin utara, dilakukan *tilt compensation* dari magnetometer terlebih dahulu dikarenakan keterbatasan pembacaan sensor magnetometer ketika sumbu z sensor tidak sejajar dengan arah gravitasi. *Tilt compensation* dilakukan dengan mengimplementasikan persamaan berikut ini.

$$axf = \text{atan}\left(\frac{acc_x}{\sqrt{acc_y^2 + acc_z^2}}\right)$$

$$ayf = \text{atan}\left(\frac{acc_y}{\sqrt{acc_x^2 + acc_z^2}}\right)$$

$$mxh = my * \cos(ayf) + my * \sin(ayf) \sin(axf) - mz * \cos(axf) \sin(ayf)$$

$$myh = my * \cos(axf) + mz * \sin(axf)$$

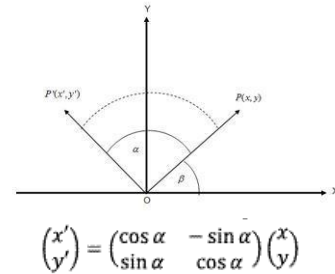
Keterangan :

- Accx merupakan pembacaan percepatan pada sumbu x
- Accy merupakan pembacaan percepatan pada sumbu y
- Accz merupakan pembacaan percepatan pada sumbu z
- Axf merupakan sudut yaw dari sensor IMU
- Ayf merupakan sudut pitch dari sensor IMU
- Mx merupakan pembacaan magnetometer pada sumbu x
- My merupakan pembacaan magnetometer pada sumbu y
- Mz merupakan pembacaan magnetometer pada sumbu z
- Mxh merupakan pembacaan magnetometer pada sumbu x yang sudah mengalami tilt compensation
- Myh merupakan pembacaan magnetometer pada sumbu y yang sudah mengalami tilt compensation

Setelah diberlakukan tilt compensation pada pembacaan magnetometer, dapat diperoleh perbedaan sudut antara sumbu x pada sensor dengan arah mata angin utara dengan persamaan berikut ini.

$$\theta_{compass} = \text{atan}\left(\frac{myh}{mxh}\right)$$

Setelah diperoleh perbedaan sudut antara sumbu x pada sensor dengan arah mata angin utara, dapat diperoleh data percepatan yang orientasinya disesuaikan dengan arah mata angin dengan menggunakan transformasi linier rotasi dengan menggunakan matriks transformasi sebagai berikut.



Gambar II.3 Transformasi Linier

Sehingga dapat diperoleh nilai percepatan dalam sumbu x dan y yang telah disesuaikan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$acc'_x = acc_x * \cos(\theta_{compass}) - acc_y * \sin(\theta_{compass})$$

$$acc'_y = acc_x * \sin(\theta_{compass}) + acc_y * \cos(\theta_{compass})$$

Keterangan

- Acc_x' merupakan data pembacaan accelerometer pada sumbu x yang telah disesuaikan
- Acc_y' merupakan data pembacaan accelerometer pada sumbu y yang telah disesuaikan

2) Algoritma Pembacaan GPS

Pada implementasi pembacaan data dari GPS, digunakan library SoftwareSerial.h dan TinyGPS++.h. Library software serial digunakan untuk porting pin GPIO agar dapat digunakan sebagai pin untuk komunikasi serial. Dibutuhkan porting pin GPIO lain sebagai pin komunikasi serial dimaksudkan untuk memudahkan troubleshooting dengan pin serial bawaan NodeMCU. Sedangkan library TinyGPS++ digunakan untuk membaca data GPS dengan format NMEA melalui pin komunikasi serial yang sudah dideklarasikan.

Implementasi pembacaan latitude dan longitude dilakukan pada awal algoritma sehingga hanya dieksekusi sekali. Pembacaan lotitude dan longitude dibatasi hanya dalam selang waktu tertentu yang ditentukan oleh suatu konstanta. Sedangkan data timestamp yang dibaca adalah tahun, bulan, hari, jam, menit, dan detik yang disusun menjadi format timestamp pada Javascript pada suatu string agar data mudah diproses di server

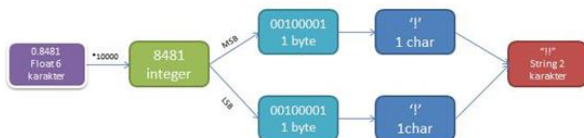
3) Algoritma Format Json

Data sensor IMU dan GPS yang telah dibaca disusun menjadi suatu format Json tertentu dengan cara konkatenasi string agar mudah dilakukan parsing menjadi suatu objek pada server dan database. Berikut adalah format Json yang digunakan.

```
{
  "pointTime": "",
  "timeZone": "Asia/Jakarta",
  "interval": 1000,
  "clientID": "ECN-1",
  "geojson": {
    "geometry": {
      "type": "Point",
      "coordinates": [125.6, 10.1]
    },
    "properties": {
      "name": "ITB"
    }
  },
  "accelerations": [
    {
      "x": -0.1243,
      "y": 14.6464725,
      "z": -12.5433
    }
  ]
}
```

4) Algoritma Representasi Char

Untuk mengurangi panjang message yang dikirimkan ke server agar waktu yang dibutuhkan untuk mengirim message juga berkurang, dilakukan perubahan representasi terhadap data percepatan yang bertipe float menjadi tipe char. Skema transformasi menjadi representasi char dapat dilihat pada gambar berikut.



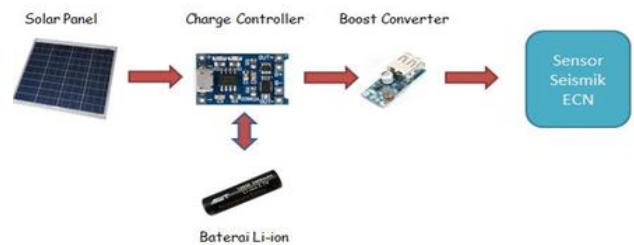
Gambar II.4 Skema Representasi Char

5) Algoritma Publish MQTT

Dalam mengimplementasikan algoritma publish MQTT digunakan library pubsubclient.h. Quality service yang digunakan pada sensor seismik ECN adalah 1 atau "At least once" karena sensor harus terus mengupdate data percepatan ke server dan tidak ditolerir ada message yang hilang. Beberapa parameter yang diatur adalah sebagai berikut.

- MQTT server : "167.205.7.226"
- Server topic : "amq.topic.ecn"
- Client ID : "ECN-" + SensorID
- MQTT username : "/disaster:sensor_gempa"

B. Sistem Daya



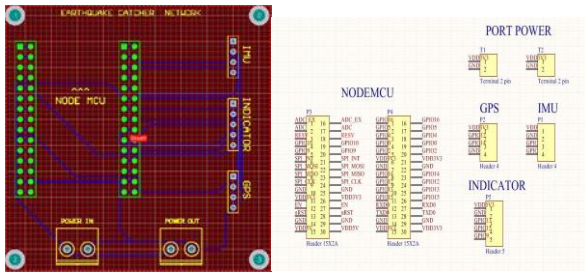
Gambar II.5 Rangkaian Sistem Daya

Desain awal digunakan rangkaian sistem daya seperti diatas. Desain tetap dapat ditentukan ketika sudah dilakukan pengujian. Berikut penjelasan fungsi dan spesifikasi dari komponen yang digunakan.

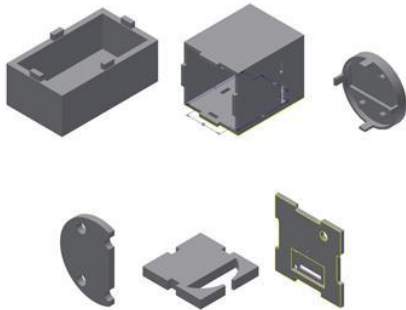
- *Solar Panel* 5 Volt 4 W, digunakan sebagai sumber daya yang dapat mengisi baterai saat siang hari.
- *Charge Controller* TP4056, digunakan untuk mengatur tingkat charging baterai Li-ion. Hanya dapat menerima arus maksimum sebesar 1A dari sumber daya.
- *Baterai Li-ion* 3.7 Volt 3400 mAh, digunakan untuk menyimpan daya yang diberikan *solar panel* pada siang hari dan menyuplai daya ke sensor seismik ECN pada malam hari
- *0.9~5 Volt Boost converter*, digunakan untuk menstabilkan tegangan yang diberikan ke sensor seismik ECN

C. Skema Instalasi

Sensor seismik ECN didesain untuk diletakkan di daerah yang jauh dari pemukiman dan binatang tetapi masih dapat dijangkau oleh orang agar sensor tidak mendapat gangguan dari orang ataupun binatang lain. Dalam implementasinya digunakan PCB board dan Casing yang terbuat dari plastik ABS agar sensor robust. Berikut adalah desain PCB board dan Casing yang digunakan.

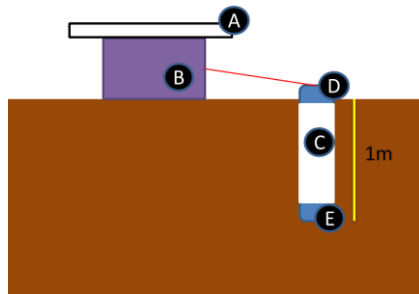


Gambar II.6 Desain PCB Sensor Seismik ECN



Gambar II.7 Desain Casing Sensor Seismik ECN

Berikut adalah skema lengkap instalasi sensor seismik ECN.



Gambar II.8 Skema Instalasi Sensor Seismik ECN

Sensor IMU diletakkan didalam tanah dengan kedalaman 1M agar tidak sensitif terhadap noise seperti hentakan kaki pada bagian (E) dan dihubungkan dengan pipa PVC (C) yang ditutup dengan (D) pada bagian atasnya. Sensor IMU dihubungkan dengan modul utama (B) dengan menggunakan kabel panjang melalui pipa PVC (C). Pada modul utama (B) terdapat PCB Board yang telah dihubungkan dengan NodeMCU, modul GPS, modul MiFi, dan sistem daya. Solar Panel (A) dilatekkan diatas modul utama agar mendapatkan sinar matahari yang maksimal.

III. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

Dilakukan beberapa pengujian dan kalibrasi sensor seismik ECN, yaitu pengujian ketelitian pembacaan latitude dan longitude pada modul GPS, kalibrasi pembacaan data percepatan gelombang seismik pada sensor IMU MPU9255, pengujian durasi proses beberapa algoritma pada beberapa proses fungsional (IMU, GPS, Publish MQTT), dan Sistem Daya.

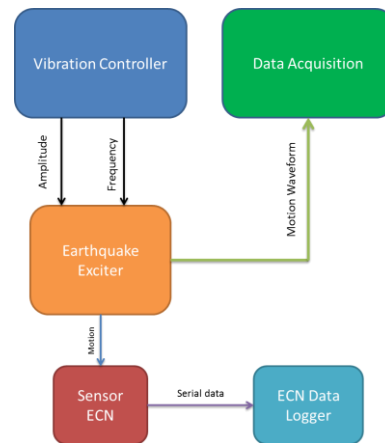
A. Pengujian Ketelitian Pembacaan Latitude dan Longitude pada Modul GPS

Pengujian akurasi GPS dilakukan dengan cara mengukur pembacaan GPS pada suatu titik tertentu dengan menggunakan modul GPS Ublox Neo-6m dan dibandingkan dengan pembacaan data *longitude* dan *latitude* pada *Google Maps* di titik yang sama. Pengujian GPS ini dilakukan di beberapa titik di area labtek VIII ITB, Labtek VII ITB, GKU Timur ITB, dan Laboratorium Doping ITB.

Diperoleh error dari pembacaan latitude pada modul GPS Neo 6M adalah 0,000049 dan error dari pembacaan longitude pada modul GPS Neo 6M adalah 0,000048. Pada jalur khatulistiwa, 1 derajat latitude sebanding dengan 110.57 km dan 1 derajat longitude sebanding dengan 111.32 km. Sehingga dapat disimpulkan bahwa error dari pembacaan modul GPS Neo 6M adalah 5,41793 m pada latitude dan 5,34336 m pada longitude. Dengan error yang diketahui dan data kisaran kecepatan rambat gelombang seismik diantara 2-8 km/h, diperoleh error waktu dalam kisaran 2,385 – 9,72 s. Hasil error waktu ini dimasukkan sebagai input dari fungsi pada aplikasi SeisComp3 untuk menentukan error penentuan lokasi gempa. Diperoleh error sekitar 100m sehingga dapat disimpulkan bahwa error ini dapat diabaikan karena data lokasi gempa biasanya disampaikan dalam satuan km.

B. Kalibrasi Pembacaan Accelerometer MPU9255

Kalibrasi accelerometer MPU9255 dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan accelerometer MPU9255 dengan data getaran dari earthquake exciter. Berikut adalah skema kalibrasi accelerometer MPU9255.



Gambar III.1 Skema Kalibrasi Accelerometer MPU9255

Vibration controller digunakan untuk mengatur frekuensi dan magnitude yang diberikan pada earthquake exciter dan divalidasi oleh data acquisition. Sensor seismik ECN diletakkan pada earthquake exciter dan pembacaan data direkam oleh GUI ECN data logger yang dibuat. Dari hasil pembacaan tersebut, dilakukan interpolasi gelombang sinusoidal pada data yang sudah didapatkan sehingga diperoleh sensitivitas sensor pada amplitud dan frekuensi tertentu. Data yang sudah diinterpolasi akan dibandingkan untuk amplitud 0.5G, 1.0G, dan 1.5G pada frekuensi 5 Hz, 10

Hz, dan 15 Hz untuk diketahui sensitifitasnya. Setelah dilakukan interpolasi dapat disimpulkan bahwa hubungan pembacaan pada amplitud yang berbeda dan frekuensi yang sama linear, sedangkan pembacaan pada amplitud yang sama pada frekuensi yang berbeda tidak menghasilkan perbedaan hasil pembacaan. Data sensitivitas tersebut diimplementasikan pada sistem pemrosesan dengan menggunakan SeisComp3. Contoh hasil interpolasi pembacaan accelerometer MPU9255 dapat dilihat pada lampiran.

C. Pengujian Durasi Proses Algoritma

Pengujian durasi proses dari suatu algoritma dilakukan dengan menyisipkan fungsi millis() sebelum dan sesudah algoritma dari suatu proses (pembacaan IMU, pembacaan GPS, dan publish MQTT). Diperoleh proses pembacaan GPS memakan waktu proses yang paling sebentar dengan range antara 0-4 ms, sehingga karena proses pembacaan GPS ini hanya dilakukan satu kali tiap satu detik maka lama proses pembacaan GPS tidak mengganggu sampling pembacaan data IMU. Sedangkan durasi proses pembacaan IMU mengambil waktu antara 1-18 ms. Karena sensor harus dapat melakukan sampling dengan frekuensi 40 Hz atau setiap 25 ms maka lama proses pembacaan IMU yang dilakukan oleh sensor masih membuat sensor dapat melakukan sampling data IMU dengan periode 25 ms atau frekuensi 40 Hz. Dapat dilihat bahwa dalam kondisi tidak menunggu queue RabbitMQ, proses pengiriman memakan waktu proses cukup lama yaitu diantara 206–322 ms. Hal tersebut cukup mengganggu proses pembacaan IMU, karena pada saat sensor publish message ke RabbitMQ, proses sampling data akan berhenti selama proses publish message tersebut. Sehingga implementasi algoritma seharusnya menggunakan multi-tasking programming agar sensor dapat melakukan sampling dengan frekuensi 40 Hz tanpa gangguan.

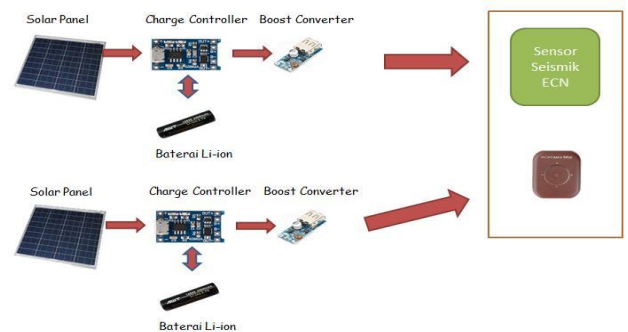
D. Pengujian Sistem Daya

Dilakukan beberapa pengujian sistem daya sebagai berikut.

- Pengujian untuk mengetahui nilai tegangan minimum baterai saat sensor seismik ECN tidak dapat bekerja. Dapat dilakukan dengan pengamatan tegangan baterai saat sensor seismik ECN mulai berhenti bekerja.
- Pengujian untuk mengetahui nilai tegangan baterai saat berada pada full capacity. Pengujian dilakukan dengan pengamatan terhadap tegangan baterai pada kondisi full capacity saat dilakukan pengisian daya oleh solar panel, kondisi full capacity ditunjukkan dengan nyala indikator LED biru pada modul charge controller.
- Pengujian untuk mengetahui durasi waktu yang dibutuhkan untuk charging baterai dalam kondisi kosong sampai ke kondisi full capacity

Diperoleh tegangan baterai saat full capacity 3.55 Volt dan saat kosong 2.8 Volt serta durasi yang dibutuhkan untuk mengisi baterai dari kondisi kosong sampai full capacity adalah

2 jam. Ketahanan baterai untuk menyuplai sensor seismik ECN dari kondisi full capacity adalah 13 jam sehingga diperlukan konfigurasi baterai sebesar dua kali kapasitas baterai dari saat pengujian, 13600 mAh dan dibutuhkan juga suplai daya sebesar dua kali lipat dari suplai daya saat pengujian, 8 Wp. Sehingga rangkaian sistem daya menjadi seperti berikut.



Gambar III.2 Rangkaian Sistem Daya yang dapat menyuplai Sensor Seismik ECN

IV. KESIMPULAN

Sensor yang didesain memenuhi spesifikasi harga karena dibutuhkan cost sebesar Rp2.280.000,00 untuk membuat sensor ECN. Sensor dapat mendeteksi gempa dengan magnitude diatas 4 dalam radius 100 km karena sensor IMU yang digunakan sudah memenuhi resolusi yang diperlukan dan pembacaan sensor sudah dikalibrasi. Sensor daya dapat bekerja selama 24 jam dengan mengimplementasikan desain sistem daya dengan konfigurasi baterai Li-ion dengan kapasitas 13600 mAh dan suplai daya total dari solar panel sebesar 5 Wp. Sensor tidak dapat melakukan sampling data seismik dengan frekuensi 40 Hz tanpa gangguan karena digunakan algoritma single-task programming, tetapi waktu sampling yang hilang dapat dikurangi dengan mengubah representasi float menjadi representasi char pada message yang akan dikirimkan ke server.

REFERENSI

- [1] Ai Thinker Team (2015). ESP8266 WROOM WiFi Module Datasheet
- [2] http://nodemcu.com/index_en.html, diakses pada tanggal 9 Mei 2017 pada pukul 16.49
- [3] InvenSense (2014). MPU-9255 Product Specification DS-000007
- [4] U-blox (2011). U-blox 6 GPS Modules Data Sheet GPS.G6-HW-09005-E
- [5] Banks, Andrew & Gupta, Rahul (2014). MQTT Version 3.1.1, OASIS Standard
- [6] Chester Simpson (2011). Characteristics of Rechargeable Batteries SNVA533
- [7] Winter, M. & Brodd, J. (2004). "What Are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors?"
- [8] NanJing Top Power ASIC Corp .TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8
- [9] Oswal, Mehul dkk. (2010). A comparative study of Lithium-Ion Batteries
- [10] Evans, J.R., Allen, R.M., Chung, A.I., Cochran, E.S., Guy, R., Hellweg, M., Lawrence, J.F., Performance of Several Low-Cost Accelerometers, Seism. Res. Letts., 85, 147-158, 2014.

