

# Sistem Monitoring *VT-Earthquake* Berbasis IoT Dengan Uji Laboratorium

Fakhri Rahadian B.<sup>1,a)</sup>, Muhammad Siddiq P.<sup>2,b)</sup>, Kelvin William<sup>2,c)</sup>, Tri Eko Putra M.<sup>2,d)</sup>, Yoga Satrio U.<sup>2,e)</sup>, Maria Evita<sup>2,f)</sup>, Mitra Djamal<sup>2,g)</sup>)

<sup>1</sup>Laboratorium Fisika Bumi,  
Kelompok Keilmuan Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

<sup>2</sup>Laboratorium Elektronika,  
Kelompok Keilmuan Fisika Teoritik Energi Tinggi dan Instrumentasi,  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

<sup>a)</sup> fakhrib@gmail.com (Corresponding Author)

<sup>b)</sup> muhammadsiddiqp27@gmail.com

<sup>c)</sup> kelvinwilliam9f@gmail.com

<sup>d)</sup> triekoputramanvi54w@gmail.com@gmail.com

<sup>e)</sup> yogasatrio25@gmail.com

<sup>f)</sup> maria@fi.itb.ac.id

<sup>g)</sup> mitra@fi.itb.ac.id

## Abstrak

*Pemantauan Gempa Tektonik-Vulkanik dilakukan agar dapat memprediksi letusan dan untuk mengevaluasi seberapa bahaya letusan gunung berapi. Monitoring tersebut menggunakan seismometer dengan transmisi nirkabel menggunakan frekuensi radio. Tetapi, transmisi frekuensi radio dengan frekuensi rendah tidak dapat menembus objek penghalang (pohon, batu, dan lain-lain) dan terdapat ketidakseimbangan ukuran data transmisi dengan kecepatan transmisi. Oleh karena itu, penulis mencoba menggunakan transmisi sinyal berbasis IoT. Untuk riset yang dilakukan, penulis membandingkan data pemantauan gempa tektonik-vulkanik hasil pengamatan langsung dengan data hasil transmisi berbasis IoT secara uji laboratorium menggunakan 2 akselerometer (ADXL 335) yang salah satunya terhubung langsung dengan komputer dan yang lain terhubung melalui internet dengan jarak  $\pm 2$  km. Pada pengujian alat, digunakan palu godam sebagai sumber frekuensi. Palu godam dilapisi karet untuk memfilter frekuensi agar menghasilkan frekuensi rendah yang sesuai dengan frekuensi V-T earthquake sekitar  $> 10$  Hz. Hasil data yang diperoleh dari kedua sensor berupa sinyal keluaran yang akan ditampilkan melalui web.*

*Kata-kata kunci: Akselerometer, Frekuensi, IoT, Transmisi, V-T Earthquake*

## PENDAHULUAN

Indonesia termasuk ke dalam bagian *Pacific Ring of Fire* atau cincin api Pasifik sehingga Indonesia memiliki banyak gunung berapi yang aktif [9]. Tercatat oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana (PVMBG) pada tahun 2012 bahwa Indonesia memiliki 127 gunung berapi yang aktif [10]. Dengan jumlah gunung berapi yang begitu banyak, besar kemungkinan akan terjadi erupsi gunung berapi.

Sampai saat ini, belum ada metode yang dapat mencegah gunung berapi untuk meletus. Namun, masih ada metode yang dapat digunakan untuk mengurangi risiko dari bencana tersebut melalui mitigasi bencana. Salah satu bentuk mitigasi bencana erupsi gunung berapi adalah dengan pemantauan aktivitas gunung berapi.

Pada penelitian ini, penulis meninjau salah satu aktivitas erupsi gunung berapi yaitu gempa Volcano-Tektonik (VT)[1]. Gempa VT adalah gempa yang disebabkan oleh pergeseran dan/atau patahan batuan di

bawah permukaan tanah akibat perubahan tekanan, yang dihasilkan dari pergerakan magma di sekitar batuan[2]. Gempa VT umumnya berfrekuensi tinggi (1-20 Hz) dan muncul dalam swarm (sekumpulan gempa-gempa pada area lokal dan periode waktu yang sebentar) [3].

Penelitian pada [1] menganalisa data 111 erupsi pada 83 gunung api di seluruh dunia. Hasilnya, gempa bumi VT dapat menjadi kejadian seismik paling awal muncul sebelum terjadinya letusan pada gunung api dorman. Pemantauan pada gempa VT juga dapat menjadi salah satu metode mitigasi bencana gempa bumi. Pemantauan aktivitas gempa bumi secara langsung (petugas mengukur besaran fisis menggunakan peralatan di lokasi) tidak efisien dan memiliki risiko kecelakaan kerja yang tinggi [4]. Untuk itu dikembangkanlah telemetri.

Telemetri memungkinkan manusia mengakuisisi data fisis di suatu tempat yang sulit dijangkau, atau data fisis yang harus diakuisisi secara terus menerus setiap saat. Telemetri untuk pemantauan gunung api di Indonesia sudah dilakukan. Namun, selama ini masih didominasi telemetri analog menggunakan modem radio. Telemetri ini mempunyai kelemahan: sulitnya sistem untuk berkomunikasi secara langsung dengan pos sentral karena terkendala jarak dan kondisi geografis pegunungan[4]. Gunung menjadi semacam penghalang yang sangat besar untuk sinyal telemetri analog berbasis radio. Untuk itu, pada penelitian ini kami mengajukan konsep telemetri digital berbasis IoT (*Internet of Things*), dan menguji konsep tersebut menggunakan eksperimen.

Penelitian mengenai monitoring *VT-Earthquake* telah banyak dilakukan oleh peneliti menggunakan metode secara langsung dan tidak langsung. Dikarenakan medan lokasi pengamatan seringkali sukar untuk dijangkau maka banyak penelitian terkait monitoring *VT-Earthquake* secara tak langsung. Terkait penelitian ini, I Ketut Swakarma telah melakukan penelitian dengan judul “Rancang Bangun Alat Monitoring Gunung Berapi Menggunakan Model Telemetri “. Penelitian ini menganalisa kecocokan model telemetri untuk memonitoring aktivitas gunung berapi [4].

Model telemetri adalah model pengukuran parameter objek fisika ,yang hasil dari pengukurannya dikirimkan ke tempat yang cukup jauh dari lokasi pengamatan. Pengiriman data dapat dilakukan dengan menggunakan kabel maupun tanpa kabel. Pada penelitian I Ketut Swakarma menggunakan sensor temperatur, arah angin, curah hujan, dan getaran. Hasil pengukuran dari sensor ini dikirim secara berkala ke stasiun pemantau lalu dilakukan penganalisaan terkait aktivitas gunung berapi. Media pengiriman data yang digunakan pada penelitian ini berbasis kepada komunikasi radio. Untuk mengetahui kebenaran data yang diperoleh, dilakukan perbandingan data hasil pengukuran dengan data standar.

Pengiriman data berbasis radio cukup baik digunakan dalam proses pengiriman data dari satu tempat ke tempat lain, namun akibat pengaruh medan saat melakukan monitoring *VT-Earthquake*, kualitas dari sinyal radio dapat saja berkurang. Untuk menjaga agar data pengiriman tidak mengalami penurunan kualitas maka dikembangkan pengiriman data berbasis IoT. Penelitian terkait hal ini telah dilakukan oleh Allu Suresh Babu pada penelitiannya yang berjudul “*Earth Quake Detection and Alerting Using IoT*” [5].

Pada penelitian ini digunakan sensor ADXL335 (GY-G1) dan ESP8266. Percobaan ini menggunakan protokol konektivitas *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) dan menggunakan bahasa pemrograman LUA. Data yang diambil berupa percepatan getaran tanah. Untuk itu maka pada penelitian ini hanya menggunakan sumbu-z pada sensor ADXL335 untuk proses pengambilan data. Cara kerja sistemnya adalah ketika dideteksi getaran melebihi batasan yang ditentukan, sistem akan memberikan peringatan berupa SMS dan Email kepada pengguna.

Pengembangan monitoring *VT-Earthquake* dengan model telemetri dapat menyelesaikan masalah terkait sukarnya medan yang akan diamati. Untuk menjamin kualitas pengiriman data tidak mengalami penurunan kualitas maka digunakan pengiriman data berbasis IoT. Pada penelitian ini akan dibandingkan kegiatan monitoring *VT-Earthquake* berbasis IoT secara langsung dan tidak langsung. Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui apakah pengiriman data ke tempat jauh menggunakan pengiriman data berbasis IoT sama dengan data yang diukur langsung di tempat pengamatan.

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk merancang sistem pemantauan fenomena gempa VT yang ditujukan untuk implementasi pada gunung api, berbasis IoT dan menguji sistem pemantauan tersebut dengan membandingkan hasilnya terhadap pemantauan secara langsung.

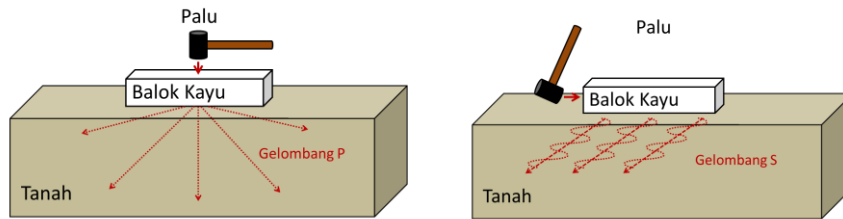
## METODE

### Bagian Umum

Pada penelitian ini, digunakan sensor percepatan 3 komponen seri ADXL335 (sensitivitas (rasiometrik) = 300 mV/g, *bandwidth* x dan y = 1600 Hz, *bandwidth* z = 550 Hz [6]). Sensor tersebut terhubung dengan 2 sistem akuisisi data (transmisi dengan kabel dan transmisi tanpa kabel menggunakan internet) yang masing-

masing akan dijelaskan pada 2 subbagian di bawah. Data yang diakuisisi berupa nilai percepatan (g) terhadap waktu.

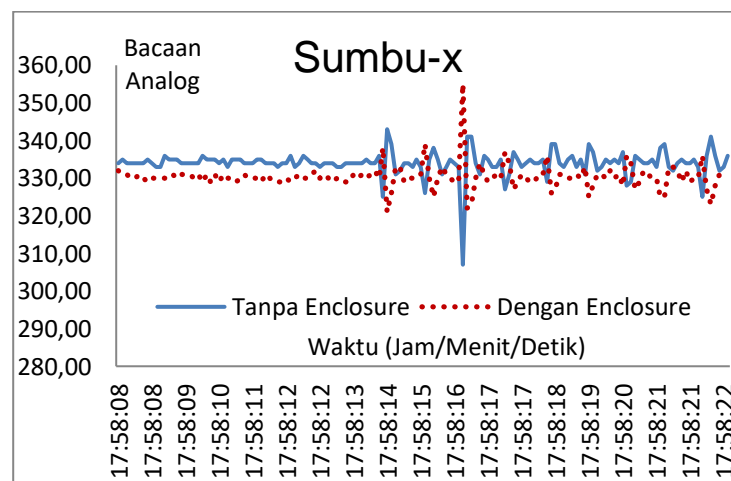
Penulis menggunakan *shear beam* untuk menghasilkan gelombang P dan S pada tanah dengan memukul *shear beam* menggunakan palu, sehingga bisa dihasilkan getaran tanah yang mirip gempa bumi. Gelombang P dihasilkan dari pukulan tegak lurus terhadap permukaan tanah, sedangkan gelombang S dihasilkan dari pukulan sejajar terhadap permukaan tanah (tentunya dilakukan untuk 2 sumbu x dan y). Alat ini dibuat dengan menancapkan serangkaian paku ke balok kayu, lalu menanam balok kayu tersebut ke tanah. Paku-paku tersebut akan menancap ke tanah dan bertindak sebagai kopel balok kayu-tanah. Untuk menghasilkan kopling yang lebih baik, balok kayu diberikan beban  $\pm 70$  kg.



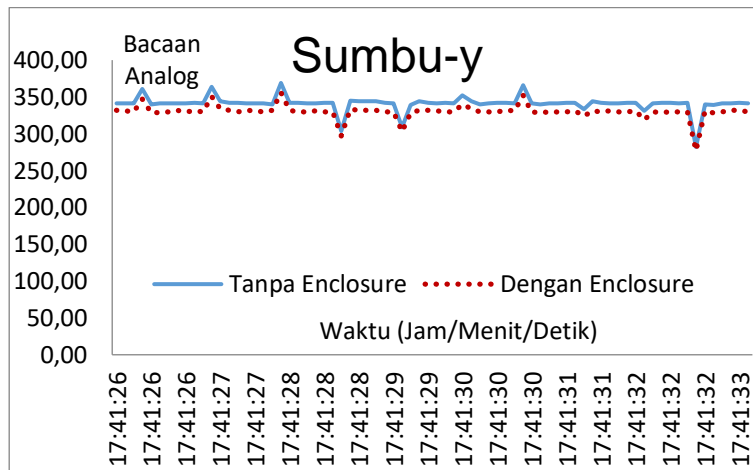
Gambar 2. Ilustrasi penghasilan gelombang P (kiri) dan S (kanan) menggunakan *shear beam*. Balok kayu ditancapkan serangkaian paku (tidak terlihat pada ilustrasi), dan ujung paku yang lain tertancap ke tanah

Ekspерimen dilakukan di 2 lokasi: tanah kosong di Jl. II, Institut Teknologi Bandung, dan Taman Sejarah Bandung, Jl. Aceh No. 53. Lokasi pertama adalah tempat sumber sumber gelombang dihasilkan serta akuisisi dengan kabel dilakukan, sedangkan lokasi kedua adalah tempat akuisisi nirkabel dilakukan. Lokasi kedua dipilih untuk mengevaluasi akuisisi nirkabel pada jarak  $\pm 2$  km. Kedua metode akuisisi dilakukan serentak untuk tiap percobaan. Percobaan terdiri dari pembacaan sinyal perubahan percepatan tanah berupa impuls yang dihasilkan dari pukulan palu ke *shear beam*. Pukulan palu dilakukan sebanyak 3 kali untuk tiap sumbu (x, y, dan z).

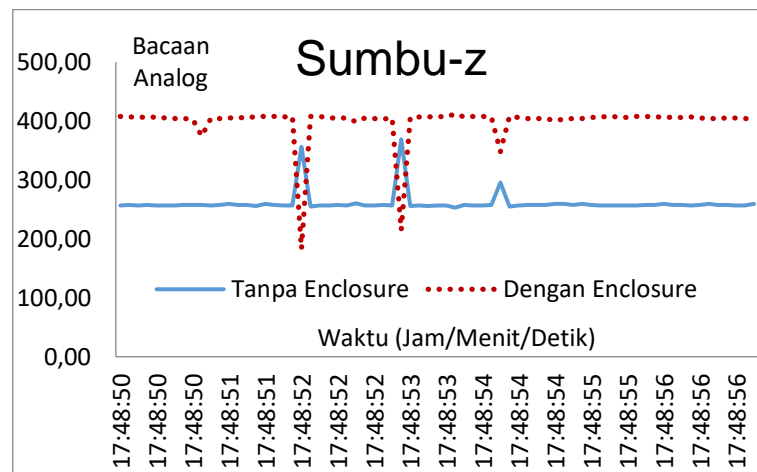
Untuk menghasilkan kopling sensor-tanah yang bagus, serta menghilangkan *noise* secara mekanik, maka sensor dikubur sedalam  $\pm 7$  cm. Penguburan memunculkan risiko kerusakan pada sensor, sehingga dibuatlah *enclosure* sensor: sensor dibenamkan pada lem tembak di dalam cetakan plastik berupa tutup kemasan air mineral. Pengaruh *enclosure* terhadap bacaan sensor ditampilkan oleh grafik berikut.



Gambar 3. Pengaruh *enclosure* sensor terhadap bacaan sensor untuk sumbu-x



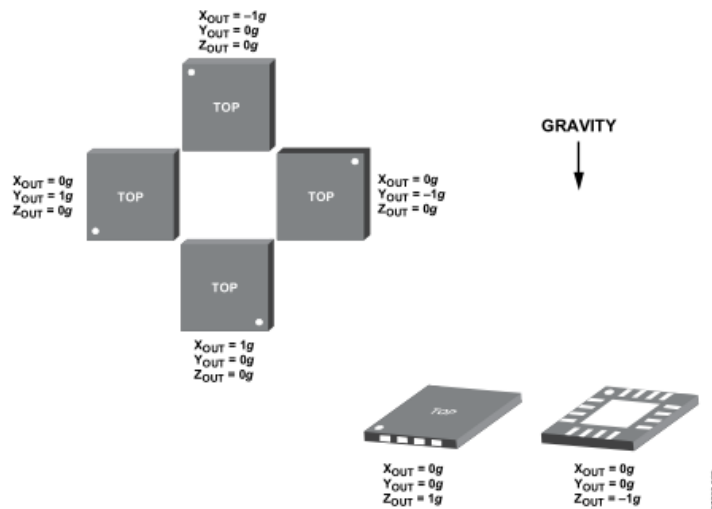
Gambar 4. Pengaruh *enclosure* sensor terhadap bacaan sensor untuk sumbu-y



Gambar 5. Pengaruh *enclosure* sensor terhadap bacaan sensor untuk sumbu-z

Grafik dihasilkan dengan membaca sinyal analog dari 2 ADXL335, di mana salah satu ADXL335 diberikan *enclosure*. Kedua sensor ditempel ke sebuah meja, lalu meja tersebut diberi getaran secara acak. Dari grafik tersebut terlihat bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari pengaruh *enclosure*, sehingga sistem *enclosure* ini layak digunakan. Untuk sumbu-x dan sumbu-z, terlihat bahwa sinyal bacaan analog dengan *enclosure* seperti dibalik secara vertical terhadap bacaan analog tanpa *enclosure*. Hal ini disebabkan oleh perbedaan orientasi sensor dengan *enclosure*, yaitu terrotasi 180° terhadap sumbu-y sensor.

Sebelum percobaan dilakukan, sensor dengan *enclosure* dikalibrasi lagi secara statis. Hal ini bertujuan menentukan sensitivitas aktual sebagai parameter kalibrasi yang akan masuk ke kode akuisisi data. Kalibrasi dilakukan dengan memposisikan salah satu sumbu tepat sejajar terhadap arah percepatan gravitasi bumi, sehingga bacaan analog yang dibaca diasosiasikan sebagai 1 g dan -1 g (ketika dibalik 180°). Hal ini dilakukan untuk ketiga sumbu sensor. Ilustrasinya adalah sebagai berikut.



Gambar 6. Kalibrasi sensor secara statis dengan memanfaatkan percepatan gravitasi untuk ketiga sumbu

Hasil bacaan analog untuk nilai 1 g ( $A_{1g}$ ) dan -1 g ( $A_{-1g}$ ) diolah menggunakan persamaan di bawah ini untuk menentukan sensitivitas ( $s$ ). Nilai ini menyatakan berapa tegangan (mV) yang dikeluarkan sensor ketika mengalami percepatan 0 g.

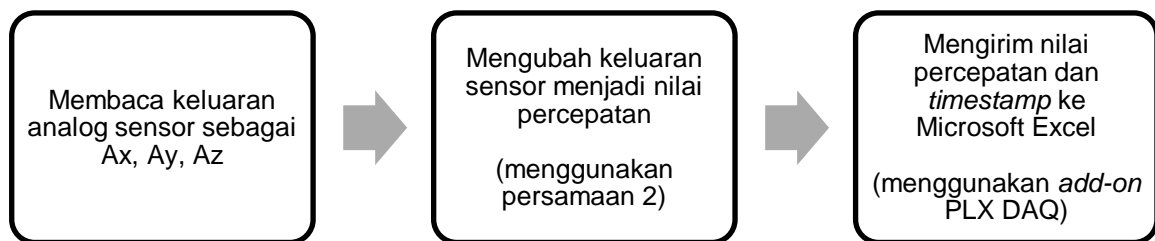
$$s = \frac{|A_{1g} + A_{-1g}|}{2} \tag{1}$$

Setelah mendapatkan sensitivitas untuk tiap sumbu, maka bacaan analog dari sensor ( $A$ ) dapat diubah menjadi nilai percepatan ( $a$ ) dalam g menggunakan persamaan berikut. Persamaan inilah yang diimplementasikan langsung di dalam kode akuisisi data.

$$a = (A - s) \times \frac{1}{s} \tag{2}$$

**Akuisisi dengan Kabel**

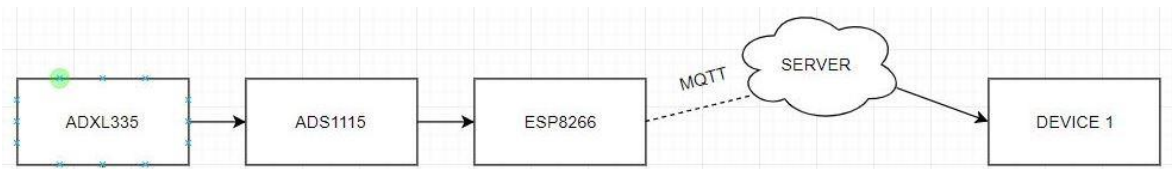
Akuisisi dengan kabel dilakukan menggunakan mikrokontroler ATmega328P di dalam Arduino UNO *development board* yang terhubung ke sebuah laptop. Kode akuisisi ditulis menggunakan bahasa C/C++ di dalam *environment* Arduino IDE, dan merupakan pengembangan dari kode pembaca sinyal analog (*AnalogReadSerial.ino*). Skema kerja kode secara kasar adalah sebagai berikut.



Kode akan terus bekerja sampai pengguna menghentikan secara manual dari program Microsoft Excel. Data yang dihasilkan berupa percepatan terhadap waktu (jam/menit/detik dari laptop yang digunakan) dengan *delay* 82 ms. Nilai *delay* dipilih agar sama dengan *delay* paling kecil yang masih bisa dilakukan oleh sistem akuisisi nirkabel dengan internet.

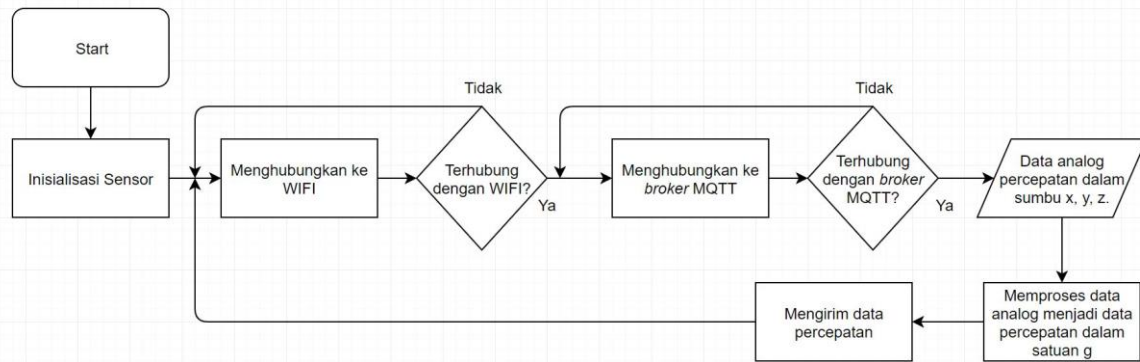
**Akuisisi Nirkabel**

Akuisisi nirkabel dilakukan dengan menggunakan Wemos D1 Mini ESP8266 dan ADS1115. Rancang bangun sistem akuisisi nirkabel adalah sebagai berikut.



Gambar 7. Rancang bangun sistem dengan akuisisi data nirkabel

Pembacaan data percepatan oleh ADXL335 memerlukan tiga *pin* ADC, sedangkan pada ESP8266 hanya terdapat satu *pin* ADC. Karena itu, digunakan ADS1115 sebagai ADC-*pin extender*. Pada ESP8266 di-*install* *firmware* Espruino dan diprogram dengan menggunakan bahasa JavaScript dalam *environment* Espruino IDE. Algoritma pemrograman ESP8266 adalah sebagai berikut.

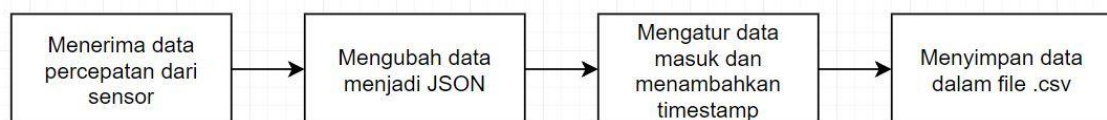


Gambar 8. Flowchart pemrograman ESP8266.

Kode akan terus bekerja sampai pengguna menghentikan secara manual. Data yang dihasilkan berupa nilai percepatan sumbu x, y, dan z. Selanjutnya data percepatan ini dikirim ke server oleh ESP8266 melalui WIFI dan protokol konektivitas IoT dengan *delay* 82 ms. Nilai *delay* ini merupakan nilai *delay* paling kecil yang masih dapat diproses oleh memori dari ESP8266.

Protokol konektivitas IoT yang digunakan adalah *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). MQTT merupakan protokol konektivitas yang ringan, hemat komunikasi data, dan dapat digunakan pada koneksi internet yang terbatas. Proses pertukaran data dengan protokol MQTT berbasis mengirim dan/atau melanggan (*Publish and/or Subscribe*) dan memerlukan adanya penyedia layanan MQTT yang disebut *broker* [7]. Pada penelitian ini, penulis menggunakan *broker* global HiveMQ sebagai *broker* MQTT.

Pada server, digunakan *platform* IoT Node-Red. Node-Red merupakan *platform* IoT yang dibangun dengan bahasa JavaScript, berbasis browser, dan cukup mudah digunakan. Node-Red dapat di-*install* pada *cloud server*, sistem komputer mini seperti Raspberry Pi, dan PC [8]. Pada penelitian ini, penulis menggunakan Node-Red yang di-*install* pada komputer sehingga komputer bertindak sebagai server dan devais pengakses data sensor sekaligus. Blok diagram dari server adalah sebagai berikut.



Gambar 9. Blok diagram dari server. Pada server digunakan *platform* IoT berupa Node-red

Server menerima data dari ESP8266 dalam bentuk *string*. Lalu data diubah dalam bentuk *JSON* untuk mempermudah pengambilan data angka dari data *string*. Selanjutnya data angka yang masuk ini diatur sesuai dengan sumbunya (x, y, dan z) dan ditambahkan *timestamp* sebagai penunjuk waktu (jam/menit/detik ketika data diterima oleh sensor). Kemudian hasil pengolahan data ini disimpan dalam file dengan bentuk “.csv”.



**Pengolahan Data**

Untuk tiap sumbu, nilai percepatan dari akuisisi dengan kabel dan nirkabel diplot terhadap waktu dalam satu grafik. Dari grafik, ditentukan mana *peak* yang merupakan sinyal dari pukulan palu. Lalu, parameter kualitas akuisisi nirkabel dengan internet dapat ditentukan (inakurasi jumlah *peak* dan inakurasi percepatan rata-rata tiap *peak*).

Inakurasi jumlah *peak* (*error peak*) menyatakan berapa persen kesalahan jumlah pukulan yang terbaca oleh akuisisi nirkabel ( $N_{internet}$ ) terhadap akuisisi dengan kabel ( $N_{langsung}$ )

$$error\ peak(\%) = \frac{|N_{internet} - N_{langsung}|}{N_{langsung}} \times 100\% \tag{3}$$

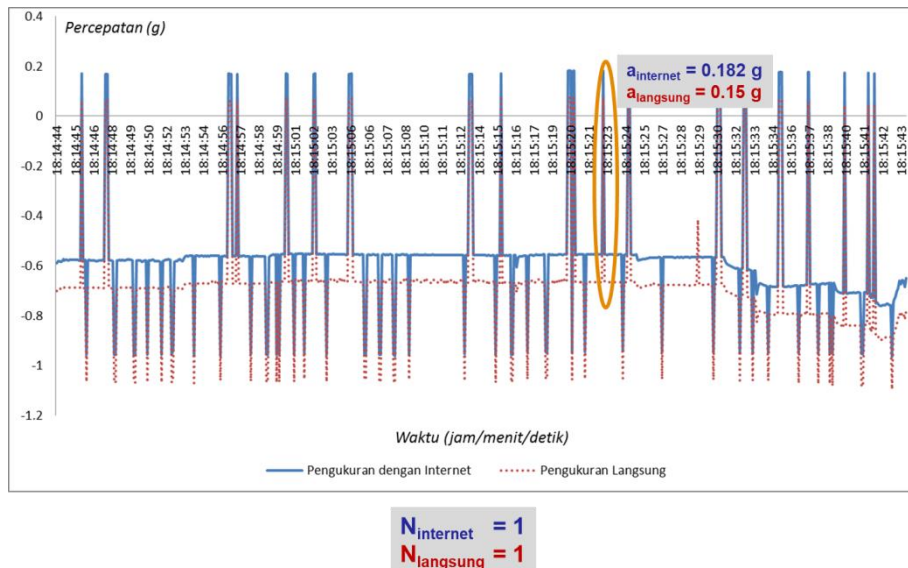
Inakurasi percepatan (*error a*) menyatakan berapa persen kesalahan nilai percepatan yang terbaca oleh akuisisi nirkabel ( $a_{internet}$ ) terhadap akuisisi dengan kabel ( $a_{langsung}$ )

$$error\ a(\%) = \frac{|a_{internet} - a_{langsung}|}{a_{langsung}} \times 100\% \tag{4}$$

Inakurasi percepatan rata-rata tiap *peak* dilakukan dengan menggunakan statistika umum. Persamaan (3) dan (4) dilakukan untuk ketiga sumbu.

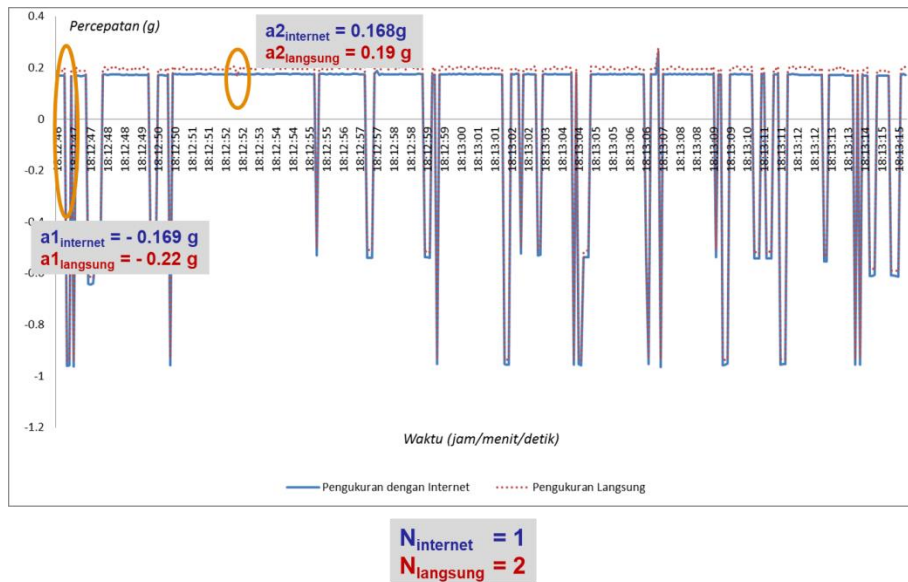
**HASIL**

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan sesuai dengan metode yang diterapkan, didapatkan data simpangan atau getaran dalam arah sumbu x, sumbu y, dan sumbu z dalam satuan percepatan gravitasi sehingga diperoleh data sebagai berikut.



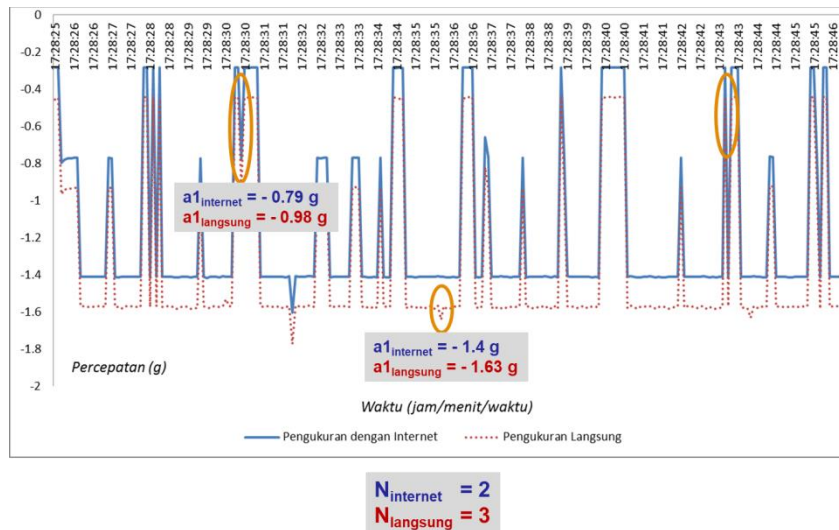
Gambar 4. Hasil percobaan untuk sumbu x

Untuk data hasil percobaan sumbu x dilakukan sebanyak tiga pukulan dan hanya terdeteksi satu buah pukulan. Didapatkan percepatan secara langsung yaitu 0,15g dan percepatan dengan transmisi internet sebesar 0,182g.



Gambar 5. Hasil percobaan untuk sumbu y

Untuk data hasil percobaan sumbu y dilakukan sebanyak dua kali pukulan. Pada pengukuran tidak langsung hanya terbaca satu kali sedangkan untuk pengukuran tidak langsung terbaca sebanyak dua kali. Pembacaan data nilai g pada kedua pengukuran secara langsung dan tidak langsung menunjukkan perbedaan dengan pengukuran secara langsung memiliki kecenderungan nilai yang lebih besar dari pada pengukuran tidak langsung, akan tetapi *trend* data yang dihasilkan oleh kedua pengukuran tersebut menunjukkan kesamaan.



Gambar 6. Hasil percobaan untuk sumbu z

Percobaan terhadap sumbu z dilakukan sebanyak 3 kali pengukuran dimana pengukuran secara langsung maupun tidak langsung sama-sama terbaca tiga pukulan. Untuk nilai percepatan getaran sumbu Z pengukuran secara langsung menunjukkan nilai yang lebih besar dibanding pengukuran tidak langsung. Akan tetapi, pada sumbu Z juga ditemukan *trend* data yang sama untuk pengukuran secara langsung maupun tak langsung.

### ANALISA

Dari data yang diperoleh berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, terdapat beberapa parameter yang menentukan inakurasi sinyal yang ditransmisi dengan internet. Pertama adalah inakurasi jumlah pukulan palu yang dideteksi. Inakurasi pukulan palu ini didapatkan dari hasil perhitungan pengolahan data menggunakan Persamaan (3), kemudian digunakan N secara langsung sebagai acuan untuk tingkat inakurasi. Didapatkan hasil



inakurasi pukulan terhadap sumbu x sebesar 0%, sumbu y sebesar 50%, dan sumbu z sebesar 33.33%. Kedua adalah inakurasi percepatan rata-rata tiap sinyal pukulan palu. Perhitungan data inakurasi percepatan diperoleh dari hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan (4) Dengan menjadikan perhitungan a secara langsung sebagai acuan tingkat inakurasi. Didapatkan hasil inakurasi percepatan terhadap sumbu x sebesar 21.33%, y sebesar 20.87%, dan sumbu z sebesar 26.94%.

Inakurasi yang didapat secara keseluruhan cukup besar. Hal ini mungkin dikarenakan, terdapat perbedaan bacaan analog untuk suatu nilai masukan tegangan yang sama (Arduino = 660 mV, sedangkan ESP8266 = 17890 mV) perbedaan jumlah bit ADC antara Arduino Uno (10-bit) dengan bit ADC yang terpasang di ESP8266, yaitu ADS115 (16-bit) sehingga mempengaruhi tingkat skala dan ketelitian pembacaan hasil input data, dan *noise* elektronik yang dapat dihasilkan dari sambungan elektronik dan transmisi pada kabel. Pada sistem akuisisi yang ditransmisi dengan internet, sambungan dan pemakaian kabel lebih banyak.

Selain itu, kualitas data yang kurang baik dapat disebabkan kopling sensor-tanah yang buruk, yang mana kopling hanya dilakukan dengan mengubur sensor pada tanah sedimen halus dan kedalaman yang dangkal. Padahal umumnya sensor pengukur getaran tanah memiliki kopling berupa struktur seperti paku sepanjang 12 – 20 cm, yang ditancapkan ke tanah untuk menghantarkan getaran tanah ke sensor.

## KESIMPULAN

Sistem pemantauan fenomena gempa VT nirkabel berhasil dibuat. Sistem tersebut terdiri dari akselerometer kapasitif ADXL335 sebagai elemen sensor yang mengkonversi getaran tanah menjadi besaran listrik, dan platform IoT Node-Red dan protokol MQTT sebagai sistem transmisi bacaan sensor secara nirkabel melalui internet. Sistem pemantauan ini dievaluasi performanya dengan membandingkan hasil bacaannya terhadap sistem pemantauan getaran tanah dengan transmisi kabel, untuk melihat apakah dengan transmisi nirkabel, sistem yang telah dibuat tetap bisa mengukur getaran tanah secara akurat.

Perbandingan dilakukan dengan menjalankan sistem pemantauan di suatu lapangan, lalu dibangkitkan getaran tanah dalam arah x, y, z dengan memukul sebuah papan kayu ke tanah. Transmisi nirkabel dilakukan dengan jarak transmisi data  $\pm 2$  km. Pengujian ini telah berhasil dilakukan, namun data perbandingan jumlah pukulan yang terdeteksi (berupa *peak*) dan percepatan tanah pada tiap *peak* menunjukkan error transmisi nirkabel yang cukup besar pada sumbu x, y, maupun z. Hal ini dapat diakibatkan perbedaan pengolahan bacaan keluaran sensor antara Arduino UNO dan ESP8266, perbedaan resolusi ADC pada keduanya, maupun buruknya kopling sensor-tanah.

Sehingga, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dibuat masih belum dapat dipercaya untuk diimplementasikan secara langsung. Sistem ini masih membutuhkan banyak pengembangan di berbagai macam aspek seperti algoritma konversi sinyal analog ke digital, serta kopling sensor-tanah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Fisika Bumi dan Laboratorium IoT (*Internet of Things*) kampus Institut Teknologi Bandung yang telah mendukung penelitian ini.

## REFERENSI

1. White, Randall, McCausland, Wendy, *Volcano-Tectonic Earth-quakes: a new tool for estimating intrusive volumes and forecasting eruptions*, Journal of Volcanology and Geothermal Research (2015)
2. Lahr, Lahr, J. C.; Chouet, B. A.; Stephens, C. D.; Power, J. A.; Page, R. A. (1994). "Earthquake classification, location, and error analysis in a volcanic environment: implications for the magmatic system of the 1989–1990 eruptions at Redoubt Volcano, Alaska"
3. C. Roman, Diana & Cashman, Katharine. (2006). *The origin of volcano-tectonic earthquake swarms* Geology. 34. 10.1130/G22269.1.
4. Swakwarma, dkk. 2010. "Rancang Bangun Alat Monitoring Gunung Berapi Menggunakan Model Telemetry". Laporan Penelitian Program Hibah Kompetitif Penelitian sesuai Prioritas Nasional Batch II. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta.

5. Babu, dkk. 2018. "*Earth Quake Detection and Alerting Using IoT*". International Journal of Engineering Science Invention (IJESI). 7 (3): 14-18
6. *ADXL335 Datasheet*. Analog Devices.
7. <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/adxl335.pdf>.
8. Anonim. *MQTT*. HiveMQ.
  - a. <https://www.hivemq.com/mqtt/>.
9. *Node-RED: Flow-based programming for the Internet of Things*.
  - a. <https://Nodered.org>.
10. *RI sits on Pacific "ring of fire"*, Antara News, <https://en.antaranews.com/news/69302/ri-sits-on-pacific-ring-of-fire--official> (Diakses 15 Desember 2018)
11. *Indonesia Miliki 127 Gunung Api Aktif*, Pikiran Rakyat, <https://www.pikiran-rakyat.com/node/186891> (Diakses 17 Desember 2018)