



**RANCANG BANGUN SISTEM AKUISISI DATA BERBASIS
IOT UNTUK PEMANTAUAN SEISMISITAS GUNUNG
BERAPI SECARA *REAL-TIME* DARI JARAK JAUH**

TESIS



Oleh

AMRY PRISWANTO
NIM. 176090300111021

PROGRAM STUDI S2 FISIKA
MINAT FISIKA INSTRUMENTASI

PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2019



RIWAYAT HIDUP PENULIS

Penulis bernama lengkap Amry Priswanto lahir di Lumajang pada 10 Mei 1994. Penulis mengawali jenjang pendidikan akademik di TK PGRI desa Pronojiwo, kec. Pronojiwo pada tahun 2000. Pada tahun 2001 penulis melanjutkan pendidikan di SDN Pronojiwo 1 desa Pronojiwo hingga tahun 2007. Selanjutnya, penulis menyelesaikan pendidikan di SMPN 1 Ampelgading Kab. Malang pada tahun 2010, kemudian dilanjutkan ke MAN 1 Malang hingga 2013. Penulis melanjutkan pendidikan S1 di Universitas Brawijaya Malang pada jurusan Fisika dengan program studi Instrumentasi pada tahun 2013 dan lulus pada tahun 2017. Pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan S2 pada program studi Ilmu Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

Malang, 30 Desember 2019

Mahasiswa

Amry Priswanto

NIM. 176090300111021



RIWAYAT HIDUP PENULIS

Penulis bernama lengkap Amry Priswanto lahir di Lumajang pada 10 Mei 1994. Penulisan mengawali jenjang pendidikan akademik di TK PGRI desa Pronojiwo, kec. Pronojiwo pada tahun 2000. Pada tahun 2001 penulis melanjutkan pendidikan di SDN Pronojiwo 1 desa Pronojiwo hingga tahun 2007. Selanjutnya, penulis menyelesaikan pendidikan di SMPN 1 Ampelgading Kab. Malang pada tahun 2010, kemudian dilanjutkan ke MAN 1 Malang hingga 2013. Penulis melanjutkan pendidikan S1 di Universitas Brawijaya Malang pada jurusan Fisika dengan program studi Instrumentasi pada tahun 2013 dan lulus pada tahun 2017. Pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan S2 pada program studi Ilmu Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

Malang, 30 Desember 2019

Mahasiswa

Amry Priswanto

NIM. 176090300111021



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Didik R. Santoso, M.Si selaku dosen pembimbing I atas waktu dan bimbingan serta motivasi yang telah diberikan selama pengerjaan tesis ini.
2. Bapak Sukir Maryanto, Ph.D selaku dosen pembimbing II atas waktu dan bimbingan yang telah diberikan selama pengerjaan tesis ini.
3. Bapak Mauludi A. Pamungkas, Ph.D selaku Ketua Program Studi S2 Fisika, Program Pascasarjana FMIPA Universitas Brawijaya.
4. Bapak Hari Arief Darmawan, dan Bapak Wiyono selaku dosen penguji atas saran yang telah diberikan.
5. Bapak, Ibu, Adik, dan Kakak yang selalu memberikan dukungan semangat selama ini.
6. Bapak dan Ibu dosen jurusan Fisika Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmunya.
7. Teman-teman magister Fisika angkatan 2017 ganjil atas kebersamaannya selama ini.
8. Teman-teman Laboratorium MCS Universitas Brawijaya atas bantuan selama penelitian.
9. Kepala Pusat PVMBG atas ijin yang telah diberikan selama pengambilan data. Serta Bapak Iyan Mulyana selaku pembimbing lapangan
10. Semua pihak yang telah banyak membantu secara langsung maupun tidak langsung selama penelitian.

Malang, 30 Desember 2019

Mahasiswa

Amry Priswanto

NIM: 17609030011021



HALAMAN PENGESAHAN
RANCANG BANGUN SISTEM AKUISISI DATA BERBASIS IOT UNTUK
PEMANTAUAN SEISMISITAS GUNUNG BERAPI SECARA REAL-TIME
DARI JARAK JAUH

TESIS



Oleh:

Nama Mahasiswa : AMRY PRISWANTO
 NIM : 176090300111021
 Program Studi : FISIKA
 Minat : INSTRUMENTASI

Menyetujui,
 KOMISI PEMBIMBING

Ketua

Anggota

Dr. Eng. Didik R. Santoso, M.Si
 NIP. 196906101994021001

Prof. Sukir Maryanto, S.Si.,M.Si.,Ph.D.
 NIP. 197106211998021001

Mengetahui
 Ketua Program Studi S2 Fisika

Mauludi Ariesto Pamungkas, S.Si., M.Si., Ph.D
 NIP. 197304122000031013

**IDENTITAS TIM PENGUJI****JUDUL TESIS:****RANCANG BANGUN SISTEM AKUISISI DATA BERBASIS IOT UNTUK PEMANTAUAN SEISMISITAS GUNUNG BERAPI SECARA *REAL-TIME* DARI JARAK JAUH**

Nama Mahasiswa : Amry Priswanto

NIM : 176090300111021

Program Studi : S2 Fisika

Minat : Instrumentasi

KOMISI PEMBIMBING

Ketua : Dr. Eng. Didik R. Santoso, M.Si

Anggota : Prof. Sukir Maryanto, Ph.D

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Drs. Hari Arief Dharmawan, M.Eng.,Ph.D

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Wiyono, M.Si.

Tanggal Ujian : 30 Desember 2019

SK Penguji : Brawijaya

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Berbasis IoT Untuk Pemantauan Seismisitas Gunung Berapi Secara Real-Time dari Jarak Jauh”** dengan baik.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu pendapat, kritik, dan saran yang sifatnya membangun sangat diperlukan untuk perbaikan tesis ini. Semoga segala yang tertulis dalam tesis ini dapat bermanfaat untuk dipahami bagi penulis dan semua orang yang membacanya serta dapat dikembangkan sesuai dengan kemajuan ilmu pengetahuan.

Malang, 30 Desember 2019

Penulis





DEVELOPMENT OF IOT BASED DATA ACQUISITION SYSTEM FOR REAL-TIME REMOTELY MONITORING OF VOLCANOES SEISMICITY

ABSTRACT

The application of the Internet of Thing (IoT) in volcanic seismic monitoring is very efficient in helping to observe volcanic activity in real-time from a distance. In this paper, an IoT-based seismic activity monitoring system has been developed with automatic data processing using Earthworm system software and Winston Wave Server (WWS). Data acquisition systems consist of seismic station, data receiver, data processing, and database server. Seismic station consisting of 3 seismic sensors, amplifier and filter, data processing, and transmitter, where is installed about 10 km from the summit of Mount Semeru. Data is transmitted to the observer using Wi-Fi telemetry with a frequency band of 5Ghz. Data is received at the observer section and obtained by the Earthworm system. Earthworm system provides data that has been processed in the form of helicorder seismic signal, hypocenter, time arrival, magnitude, and SAC or mini seed (mseed) file format. Database server for cloud access is created using Winston and MySQL Database Management Systems (DBMS). They are providing near real-time seismic waveform, long-term seismic data storage, and webserver database. Seismic data can be accessed remotely using the SWARM application via the internet and it can integrate with the website.



RANCANG BANGUN SISTEM AKUISISI DATA BERBASIS IOT UNTUK PEMANTAUAN SEISMISITAS GUNUNG BERAPI SECARA *REAL-TIME* DARI JARAK JAUH

ABSTRAK

Penerapan *Internet of Thing* (IoT) dalam pemantauan seismik gunung berapi sangat efisien dalam membantu mengamati aktivitas gunung berapi secara *real-time* dari jarak jauh. Dalam tulisan ini, sistem pemantauan aktivitas seismik berbasis IoT telah dikembangkan dengan pemrosesan data otomatis menggunakan perangkat lunak sistem *Earthworm* dan *Winston Wave Server* (WWS). Sistem akuisisi data terdiri dari stasiun seismik, penerima data, pemrosesan data, dan server database. Stasiun seismik terdiri dari 3 sensor seismik, penguat dan filter, pengolahan data, dan pemancar, di mana dipasang sekitar 10 km dari puncak gunung Semeru. Data ditransmisikan ke pengamat menggunakan Wi-Fi telemetry dengan pita frekuensi 5Ghz. Data diterima di bagian pengamat dan di olah oleh sistem *Earthworm*. Sistem *Earthworm* menyediakan data yang telah diproses dalam bentuk sinyal seismik helicorder, hiposenter, waktu tiba gempa, amplitudo, dan format file SAC atau mseed. Server basis data untuk akses cloud dibuat menggunakan *Winston* dan Sistem Manajemen Basis Data MySQL. Sistem tersebut menyediakan *wavefoorm* seismik secara realtime, penyimpanan data seismik jangka panjang, dan *database web-server*. Data seismik dapat diakses dari jarak jauh menggunakan aplikasi SWARM melalui internet dan dapat di integrasikan dengan website.

ACKNOWLEDGEMENT

Penelitian ini dibiayai oleh Hibah Penelitian Guru Besar dan Doktor Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, sesuai dengan Kontrak Penelitian atas nama Dr. Eng Didik R. Santoso, M.Si. dengan Nomor: 36/UN10.F09/PN/2019, tanggal 28 Juni 2019.

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Struktur gunungapi..... | 9 |
| Gambar 2.2 | Bentuk gelombang (<i>waveform</i>) dan spekctogram (a) Gempa VT-A; (b) Gempa VT-B(J.Wasserman, 2000)..... | 11 |
| Gambar 2.3 | Bentuk gelombang (<i>waveform</i>) dari gempa LF(J.Wasserman, 2000) | 11 |
| Gambar 2.4 | Perbedaan bentuk gelombang (<i>waveform</i>) (a) Gempa <i>hybrid</i> ; (b) Gempa VT-B(J.Wasserman, 2000)..... | 12 |
| Gambar 2.5 | Bentuk gelombang (<i>waveform</i>) dan spektral gempa letusan(J.Wasserman, 2000)..... | 12 |
| Gambar 2.6 | Struktur sederhana dari <i>geophone</i> (Hons, 2008)..... | 13 |
| Gambar 2.7 | Seismometer 14c dan struktur dari sensor tersebut (Bowden, 2003) | 15 |
| Gambar 2.8 | Simbol standard sebuah OP-Amp(Carter & Brown, 2016)..... | 15 |
| Gambar 2.9 | Konfigurasi rangkaian pembalik (<i>inverting</i>)(Thornton, 2015)..... | 16 |
| Gambar 2.10 | Rangkain penguat penjumlah dengan tiga masukan(Thornton, 2015)..... | 18 |
| Gambar 2.11 | Rangkaian tak pembalik (<i>non-inverting</i>)(Thornton, 2015)..... | 19 |
| Gambar 2.12 | Penguat <i>differential</i> (Thornton, 2015)..... | 20 |
| Gambar 2.13 | Topologi <i>Sallen-Key</i> yang umum digunakan(Mara E. Conner, 2018) | 23 |
| Gambar 2.14 | Topologi <i>Sallen-Key unity gain</i> (Mara E. Conner, 2018)..... | 23 |
| Gambar 2.15 | Topologi <i>Sallen-Key</i> yang umum digunakan(Mara E. Conner, 2018) | 24 |
| Gambar 2.16 | Topologi <i>Sallen-Key unity gain</i> (Mara E. Conner, 2018)..... | 24 |
| Gambar 2.17 | Jaringan Area Lokal Nirkabel (WLAN) Terhubung ke Internet(Rabbit, 2007)..... | 27 |
| Gambar 2.18 | Perbandingan antara <i>Massive IoT (M-IoT)</i> dan <i>Critical IoT</i> (Americans, 2019)..... | 30 |
| Gambar 2.19 | Arsitektur loop standar jaringan ADSL(R. Zhang & Wang, 2010) | 31 |



| | |
|---|----|
| Gambar 2. 20 Jalur di tempat pelanggan(R. Zhang & Wang, 2010)..... | 32 |
| Gambar 2.21 <i>Layer</i> jaringan ADSL(R. Zhang & Wang, 2010)..... | 34 |
| Gambar 2.22 Pembagian frekuensi unuk transmisi data ADSL(Hrvatska & Infrastructure, 2002)..... | 35 |
| Gambar 2. 23 Penggunaan SQL dalam database management(Groff & Weinberg, 1999)..... | 37 |
| Gambar 2. 24 Blok diagram <i>Earthworm</i> secara umum dan dikombinasikan dengan MoleDB (Quintiliani & Pintore, 2013) | 39 |
| Gambar 3.1 Kerangka konsep berfikir | 43 |
| Gambar 4. 1 Blok diagram sistem transmitter dari stasiun seismik | 45 |
| Gambar 4. 2 Blok diagram bagian receiver dari stasiun seismik..... | 45 |
| Gambar 4. 3 Skematik dari rangkaian pengkondisi sinyal sensor seismik | 48 |
| Gambar 4. 4 Blok diagram digitizer untuk stasiun seismik | 51 |
| Gambar 4. 5 Sistem otomatis <i>Earthworm</i> untuk pemrosesan data secara realtime | 53 |
| Gambar 4. 6 Sistem IoT berbasis jaringan internet ADSL | 54 |
| Gambar 4.7 Peta gunung berapi Semeru dan lokasi stasiun seismik(Maryanto & Mulyana, 2008) | 56 |
| Gambar 5.1 Foto rangkaian pengkondisi sinyal..... | 58 |
| Gambar 5.2 Foto digitizer sebagai pemroses sinyal..... | 60 |
| Gambar 5. 3 <i>Screenshot</i> konfigurasi virtual server NAT pada modem ADSL...62 | |
| Gambar 5. 4 <i>Screenshot</i> sistem pemrosesan data yang sedang bekerja..... | 62 |
| Gambar 5. 5 Antarmuka aplikasi SWARM..... | 63 |
| Gambar 5. 6 Statistik MySQL ketika klien mengakses data..... | 63 |
| Gambar 5. 7 Foto bunker stasiun seismograf Leker..... | 65 |
| Gambar 5.8 Catu daya aki sebanyak 8 buah | 65 |
| Gambar 5.9 Sistem seismograf yang dikembangkan | 66 |
| Gambar 5.10 Tiga buah sensor seismik yang dipasang | 66 |
| Gambar 5.11 Radio transmitter analog dan digital | 67 |
| Gambar 5.12 Pos pengamatan gunungapi Sawur..... | 68 |
| Gambar 5.13 Antena <i>receiver</i> analog dan digital..... | 68 |
| Gambar 5.14 Seismogram analog PVMBG stasiun Leker..... | 69 |



| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 5.15 | Komputer <i>server</i> untuk monitoring dan penyimpanan data..... | 69 |
| Gambar 5.16 | Seismogram stasiun Leker dari sistem hasil pengembangan | 72 |
| Gambar 5.17 | Seismogram stasiun Leker milik PVMBG | 73 |
| Gambar 5.18 | Seismogram stasiun Besuk Bang milik PVMBG..... | 74 |
| Gambar 5.19 | Seismogram stasiun Kepolo milik PVMBG | 75 |
| Gambar 5.20 | Seismogram stasiun Kamar A milik PVMBG | 76 |
| Gambar 5.21 | Perbandingan amplitudo sinyal seismik yang direkam oleh sistem yang dikembangkan dengan sistem milik PVMBG | 77 |
| Gambar 5.22 | Perbandingan frekuensi sinyal seismik yang direkam oleh sistem yang dikembangkan dengan sistem milik PVMBG | 78 |
| Gambar 5.23 | Bentuk gelombang (<i>waveform</i>) dan spectrogram frekuensi gempa VT-A | 79 |
| Gambar 5.24 | Bentuk gelombang (<i>waveform</i>) dan spectrogram frekuensi seismik <i>Long-Period</i> (LP) | 79 |
| Gambar 5.25 | Bentuk gelombang (<i>waveform</i>) dan spectrogram frekuensi gempa hembusan..... | 80 |
| Gambar 5.26 | Bentuk gelombang (<i>waveform</i>) dan spectrogram frekuensi <i>event Tremor</i> | 80 |
| Gambar 5.27 | Gambar grafik RSAM data stasiun leker dari sistem yang telah dibuat..... | 81 |

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN PENGESAHAN..... | ii |
| IDENTITAS TIM PENGUJI..... | iii |
| PERNYATAAN ORISINALITAS..... | iv |
| RIWAYAT HIDUP PENULIS..... | v |
| UCAPAN TERIMA KASIH..... | vi |
| ACKNOWLEDGEMENT..... | vii |
| ABSTRAK..... | viii |
| <i>ABSTRACT</i> | ix |
| KATA PENGANTAR..... | x |
| DAFTAR ISI..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiv |
| DAFTAR TABEL..... | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xi |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah..... | 7 |
| 1.3. Tujuan Penelitian..... | 8 |
| 1.4. Manfaat Penelitian..... | 8 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 9 |
| 2.1. Gunungapi..... | 9 |
| 2.2. Klasifikasi Gempa Gunungapi..... | 10 |
| 2.3. Sensor <i>Geophone</i> | 13 |
| 2.4. Sensor Mark L4..... | 14 |
| 2.5. Penguat Operasional (OP-AMP)..... | 15 |
| 2.6. Rangkaian Filter Aktif Topologi <i>Sallen-key</i> | 21 |





| | |
|---|-----------|
| 2.7. Komunikasi Nirkabel..... | 25 |
| 2.8. Internet of Thing (IoT)..... | 29 |
| 2.9. Teknologi <i>Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)</i> | 31 |
| 2.10. <i>Database Management System (DBMS): SQL</i> | 35 |
| 2.11. Automatisasi Pemrosesan Data Berbasis <i>Earthworm System Software</i> | 38 |
| BAB III KERANGKA KONSEP PEMIKIRAN | 40 |
| BAB IV METODE PENELITIAN | 44 |
| 4.1. Waktu dan Tempat Penelitian..... | 44 |
| 4.2. Desain Stasiun Seismik Secara Keseluruhan..... | 44 |
| 4.3. Desain Sistem Akuisisi Data Seismik..... | 46 |
| 4.3.1. Desain Pengkondisi Sinyal..... | 46 |
| 4.3.2. Desain Digitizer Untuk Pemroses Sinyal..... | 50 |
| 4.3.3. Sistem Otomatis <i>Earthworm System Software</i> Untuk Pemrosesan Data <i>Real-Time</i> Serta Sistem Berbasis IoT Menggunakan Jaringan ADSL dan MySQL <i>Database Management System (DBMS)</i> | 51 |
| 4.4. Prosedur Pengujian Lapangan..... | 54 |
| BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN | 58 |
| 5.1 Hasil Perancangan Hardware..... | 58 |
| 5.1.1 Pengondisi Sinyal Sensor <i>Geophone</i> , Sensor L4C, dan MEMS <i>Accelerometer</i> | 58 |
| 5.1.2 <i>Digitizer</i> Sebagai Pemroses Sinyal Sensor Seismik..... | 59 |
| 5.2 <i>Database Server, Earthworm System Software, dan Winston Wave Server</i> .. | 60 |
| 5.3 Instalasi Stasiun Seismik di Stasiun Seismograf Leker..... | 64 |
| 5.4 Seismogram dari Sistem hasil Pengembangan dengan Sistem milik PVMBG69 | |
| 5.5 Perbandingan Data dari Sistem yang Sudah di Kembangkan dengan Data dari Sistem Milik PVMBG..... | 77 |
| 5.6 Klasifikasi Tipe Gempa yang Terekam oleh Seismogram Sistem..... | 78 |



| | |
|---|----|
| 5.7 Data <i>Realtime Seismik Amplitude Measurement</i> (RSAM) Kegempaan Gunungapi Semeru..... | 80 |
|---|----|

| | |
|---|-----------|
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN..... | 82 |
|---|-----------|

| | |
|---------------------|----|
| 6.1 Kesimpulan..... | 82 |
|---------------------|----|

| | |
|----------------|----|
| 6.2 Saran..... | 83 |
|----------------|----|

| | |
|---------------------|----|
| DAFTAR PUSTAKA..... | 84 |
|---------------------|----|

| | |
|---------------|----|
| LAMPIRAN..... | 88 |
|---------------|----|

DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|-------------|---|-----|
| Lampiran 1 | Peta geologi Gunungapi Semeru (gambar tidak sesuai skala)..... | 88 |
| Lampiran 2 | Foto Gunungapi Semeru 17 November 2019..... | 88 |
| Lampiran 3 | Foto pemasangan sistem di stasiun leker | 89 |
| Lampiran 4 | Foto pos pengamatan PGA Sawur | 91 |
| Lampiran 5 | Seismogram tanggal 15 November 2019 sistem hasil pengembangan | 92 |
| Lampiran 6 | Seismogram tanggal 16 November 2019 sistem hasil pengembangan | 93 |
| Lampiran 7 | <i>Datasheet</i> Seismometer L-4C..... | 94 |
| Lampiran 8 | <i>Datasheet</i> Geophone SM-24..... | 96 |
| Lampiran 9 | <i>Datasheet</i> Seismometer L-4C..... | 98 |
| Lampiran 10 | <i>Screenshot</i> sebagian program untuk pembacaan <i>digitizer</i> | 99 |
| Lampiran 11 | <i>Screenshot</i> sebagian program untuk mikrokontroler | 100 |
| Lampiran 12 | <i>Paper</i> 1 yang sudah diterbitkan..... | 101 |
| Lampiran 13 | <i>Paper</i> 2 yang sudah diterbitkan..... | 102 |
| Lampiran 14 | Sertifikat bebas plagiasi | 103 |

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Antara IEEE 802.11a, b, g, n dan ac (Babiker et al., 2015) 29

Tabel 4. 1 Spesifikasi dari sensor seismik yang digunakan 47

Tabel 4. 2 Modul *earthworm* yang digunakan 52

Tabel 4. 3 Daftar stasiun seismik Gununggapi Semeru 55

Tabel 4. 4 Seismogram dari beberapa jenis gempa vulkanik gunungapi semeru 57

BAB I PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Gunung berapi adalah kawah atau lubang retak di kerak bumi di mana magma atau gas atau cairan lainnya datang ke permukaan bumi. Berdasarkan tingkat fragmentasi dan tingkat tinggi dan rendah, juga kekuatan letusan dan ketinggian pilar asap, gunung berapi dibagi menjadi beberapa jenis letusan(Gonnermann, 2015):

- Tipe Hawaii, yaitu letusan eksplosif magma basaltik atau dekat basalt, umumnya dalam bentuk pijar, dan sering diikuti oleh erosi lava secara bersamaan, terjadi dalam celah atau ketebalan sederhana;
- Tipe Strombolian, erupsi hampir sama dengan Hawaii dalam bentuk semburan magma dangkal, umumnya terjadi di gunung berapi yang sering aktif di tepi benua atau di tengah benua;
- Jenis Plinian, adalah letusan yang sangat luas dari magma viskositas tinggi atau magma asam, komposisi magma adalah andesit untuk rhyolitic

Gunungapi di Indonesia termasuk yang terbanyak di dunia. Dari 127 gunungapi yang aktif, 70 diantaranya dipantau oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG). Pemantauan aktivitas gunungapi bertujuan untuk mengetahui kapan erupsi terjadi, berapa lama erupsi terjadi, dan jenis erupsi. Vulkanolog mengklasifikasikan status gunungapi berdasarkan data dan tanda – tanda dari hari ke hari yang diperoleh dari hasil pengamatan visual dan instrumental (Hulu & Katolik, 2015). Salah satu metode monitoring volcano yang powerful adalah gabungan antara metode seismik, metode deformasi, metode visual dan metode geokimia. Dinilai powerful karena aktivitas internal magma bisa dideteksi



dari sinyal seismiknya. Sementara metode geofisika seperti metode magnetic, gravity dan geolistrik dilakukan untuk pemantauan jangka panjang. Pengamatan secara visual dilakukan dengan melihat langsung beberapa tanda – tanda yang terjadi disekitar kawasan gunungapi. Beberapa tanda – tanda yang diamati diantaranya yaitu perubahan warna asap, bau yang menyengat dari gas sulfur, guguran awan panas yang terjadi, perubahan pada tumbuhan yang berada disekitar lereng gunungapi, serta yang tergolong baru bagi pengamat yaitu perubahan perilaku binatang yang berada disekitar lokasi gunungapi, yang menunjukkan kepanikan.

Aktivitas seismik dipantau dengan menggunakan peralatan seismograf. Seismograf merekam getaran tanah termasuk gelombang seismik yang diakibatkan oleh letusan gunung berapi, gempa bumi dan sumber lainnya (Jamal, 2011).

Seismograf di tempatkan di beberapa titik disekitar gunungapi, misalnya di gunung Merapi ditempatkan 8 stasiun seismograf dengan sistem radio telemetri (RTS) dan gunungapi Semeru terdapat 4 titik stasiun seismograf. Seismograf untuk pemantauan gunungapi terbagi dalam 2 bagian, yaitu sistem pemancar dan sistem penerima. Sistem pemancar berfungsi untuk mendeteksi getaran-getaran tanah / gempa lalu mengirimkannya ke bagian penerima. Data ditransmitkan ke Pos pengamatan dengan teknik propagasi gelombang radio (Alwan et al., 2017). Di Pos data di terima Receiver, didemodulasikan oleh diskriminator menjadi tegangan analog kembali, dan direkam ke seismogram dengan galvanometer, ini adalah prinsip RTS analog, untuk RTS digital prinsipnya hampir sama, hanya pada transmitter, data yang dimodulasikan sudah berupa data-data digital. Dengan mengubah data analog dari seismometer menjadi digital menggunakan ADC.



Perkembangan teknologi membawa perkembangan pada instrumen pengamatan gunungapi. Telah banyak penelitian terkait pengembangan instrumen monitoring gunung berapi. Luaran dari penelitian yang dilakukan dapat berupa pengembangan sensor, sistem komunikasi, serta pengembangan sistem *monitoring* gunungapi yang melibatkan banyak sensor secara terintegrasi. Dalam metode seismik, sensor getaran untuk deteksi seismik (sensor seismik) merupakan komponen utama pada seismograf. Mayoritas saat ini, akuisisi data seismik menggunakan geofon koil sebagai sensor perekam gerakan tanah. Sensor geofon memiliki kelebihan diantaranya yaitu memiliki sensitivitas yang tinggi serta memiliki *ground noise* yang rendah. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Santoso dkk, mereka mengembangkan data akuisisi seismik dengan memanfaatkan geofon sebagai sensor *array* untuk keperluan seismik refraksi. Dari hasil penelitiannya, data akuisisi yang dibuat dapat merekam sinyal 6 geofon *array* secara simultan (Santoso, Maryanto, Nadhir, & Sugiharto, 2017).

Pengembangan sistem *monitoring* aktivitas seismik dengan memanfaatkan sensor geofon juga telah dilakukan oleh Chotib dkk. Didalam penelitiannya, mereka mengembangkan telemetri aktivitas gunung berapi menggunakan sensor seismik 3c dengan gelombang wifi 2.4Ghz. Sistem yang dibuat dapat memonitoring aktivitas seismik secara *realtime* dari jarak jauh. Akan tetapi, didalam penelitiannya juga disebutkan bahwa sistem yang dibuat masih memiliki kelemahan pada stabilitasnya. Karena jika digunakan dalam jangka waktu lama, sistem akan *down* karena beban pemrosesan. Selain itu kedua hasil penelitian diatas masih belum bisa diimplementasikan langsung untuk pemantauan gunungapi, karena sistem akuisisi yang masih belum standard dan sesuai dengan yang sudah digunakan saat ini.



Pemantauan seismik gunungapi di Indonesia saat ini hanya bersifat local, artinya data yang terekam di tiap stasiun dan dikirim ke pos pengamatan tidak dapat diakses dari jarak jauh atau dikirim secara realtime ke kantor pusat, hanya beberapa pos pengamatan yang mengimplementasikan komunikasi jarak jauh. Media komunikasi yang saat ini digunakan oleh PVMBG untuk transmisi data jarak jauh yaitu *Very Small Aperture Terminal* (VSAT). VSAT merupakan salah satu jenis komunikasi data yang memanfaatkan satelit untuk mentransmisikan data dari satu tempat ke tempat lainnya (Surekha, 2012). VSAT memang sangat membantu dalam pertukaran data seismik dari pos pengamatan ke bagian kantor pusat, akan tetapi teknologi ini memiliki harga yang relative mahal dan memiliki latensi komunikasi yang relative besar yaitu sekitar 500ms – 1s (Merrouchi, 2015). Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk komunikasi data seismik jarak jauh atau untuk monitoring jarak jauh secara realtime yaitu menggunakan media internet. Internet saat ini banyak digunakan dalam sistem monitoring lingkungan agar dapat dipantau secara jarak jauh. Sistem yang banyak dikembangkan adalah Internet of Thing (IoT).

Internet of Thing (IOT) adalah konsep yang menghubungkan berbagai hal atau benda dalam lingkungan dengan koneksi nirkabel dan kabel, yang dapat berinteraksi satu sama lain untuk menciptakan layanan dan mencapai tujuan bersama (Ibrahim, Elgamri, Babiker, & Mohamed, 2015). Pemantauan jarak jauh berbasis IoT telah berkembang pesat seiring dengan kemudahan mendapatkan bahan dan komponen yang dibutuhkan, serta perkembangan teknologi di bidang informasi dan komunikasi. Dalam pemantauan lingkungan, IoT memungkinkan pengguna untuk mengamati perubahan kondisi lingkungan dengan mudah untuk



menentukan tindakan lebih lanjut yang harus dilakukan yang bertujuan meningkatkan keselamatan, kualitas produk, dan stabilitas produk. Hal tersebut karena kemampuan yang ditawarkan oleh IoT diantaranya komunikasi dasar yang menghubungkan berbagai sensor pintar, perangkat komputer, perangkat seluler yang terhubung ke internet, dan akuisisi data lokal atau jarak jauh berbasis *cloud*, dan pengambilan keputusan yang tepat (Ghosh & Banerjee, 2019). Dengan demikian, kemampuan IoT dapat merevolusi teknologi pengamatan lingkungan termasuk instrumen pengamatan gunung berapi yang mungkin salah satu sektor yang tidak efisien untuk menjadi lebih efisien.

Letusan gunung berapi adalah bencana alam yang dapat mengakibatkan banyak kerugian termasuk kerusakan properti, hilangnya nyawa, infrastruktur, pertanian, dan sebagainya. Indonesia, Jepang, dan Amerika adalah negara-negara yang rentan terhadap bencana letusan gunung berapi. Oleh karena itu, pemantauan intensif gunung berapi rawan erupsi diperlukan untuk memberikan peringatan dini dan informasi secara cepat ketika letusan terjadi sehingga dapat mengurangi kerugian (Evita, Djamal, Zimanowski, & Schilling, 2016).

Di sinilah peran internet menjadi sangat penting dalam memantau gunung berapi. Selain memberikan peningkatan dalam komunikasi data, internet juga dapat digunakan sebagai penyedia informasi secara cepat terkait dengan aktivitas vulkanik serta ketersediaan data yang mudah diakses oleh seismolog untuk digunakan sebagai bahan penelitian dan pemantauan kondisi gunungapi.

Pemantauan seismik berbasis IoT dapat membantu seismolog dalam memantau aktivitas seismik dari jarak jauh. Teknologi IoT memiliki harga yang lebih rendah dibandingkan dengan teknologi komunikasi jarak jauh lainnya, seperti komunikasi



Very Small Aperture Terminal (VSAT). Perkembangan telekomunikasi internet saat ini menawarkan koneksi super cepat untuk transmisi data. Transmisi data melalui koneksi internet yang banyak digunakan adalah ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) dan teknologi *Fiber Optic* (D. Zhang, Fan, Wang, & Zhou, 2005). ADSL adalah pilihan terbaik untuk negara berkembang seperti Indonesia, karena ketersediaan teknologi serat optik yang belum merata. Koneksi ADSL diklasifikasikan sebagai koneksi cepat dengan kecepatan downstream rata-rata mencapai 6-8 Mbps dan up-stream 100 kbps hingga 1 Mbps (R. Zhang & Wang, 2010). Meskipun ADSL memiliki kecepatan lebih besar untuk *down-stream* nya daripada *up-stream*, itu tidak menjadi hambatan untuk mentransmisikan data seismik jarak jauh, karena data seismik cenderung memiliki kapasitas paket data yang relatif kecil.

Transmisi data seismik melalui media internet menggunakan teknologi ADSL dapat dilakukan dengan membangun sistem penyimpanan data berbasis server. Sistem *Database* ini memudahkan kita untuk memproses, mengubah, dan melindungi data. Penerapan model server database untuk pemantauan jarak jauh seismik gunung berapi dapat memberikan kemudahan akses data oleh orang-orang dari seluruh dunia. Ketersediaan aplikasi server database seperti MySQL, dan program akuisisi data khusus untuk seismik seperti Earthworm dan Winston Wave Server dapat membantu mempermudah para peneliti untuk membangun penyimpanan data untuk seismik yang mudah diakses dari luar untuk keperluan penelitian gunungapi.

Di Indonesia saat ini tidak banyak implementasi jaringan data seismik berbasis internet. Oleh karena itu, seismolog baik dari mahasiswa maupun peneliti



profesional di Indonesia sangat sulit untuk mendapatkan akses ke data seismik terbaru. Dalam tulisan ini, sebuah penelitian telah diusulkan untuk membangun jaringan data seismik berbasis *database* dan komunikasi internet dengan menerapkan teknologi komunikasi ADSL dan Sistem Manajemen Basis Data Seismik menggunakan MySQL, *Earthworm system software*, dan *Winston Wave Server* (WWS). Data seismik dapat diakses dan diunduh dengan mudah melalui internet hanya dengan memasukkan server dan alamat port yang sudah ditentukan atau informasi aktivitas seismik terbaru dapat dilihat dari browser web dengan mengunjungi alamat situs web yang telah dibuat. Monitoring tetap wewenang PVMBG, akan tetapi hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu mengembangkan teknologi pemantauan aktifitas seismik untuk Lembaga terkait dan atau para peneliti sehingga mendapatkan kemudahan dalam akses data seismik terbaru.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka pokok permasalahan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem akuisisi data untuk multi kanal sensor seismik
2. Bagaimana memilih media komunikasi telemetri yang sesuai dengan kondisi geografis untuk transmisi data dari stasiun seismik menuju pos pengamatan.
3. Bagaimana membangun server data seismik berbasis *Database Management System* (DBMS) MySQL yang terintegrasi dengan *Winston Wave Server* (WWS) dan *Earthworm System Software* sebagai penyedia data seismik secara *realtime* dan *webserver*.



4. Bagaimana mengembangkan sistem IoT untuk pemantauan seismisitas gunungapi dengan menggunakan teknologi komunikasi ADSL.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan sistem akuisisi data seismik untuk monitoring jarak jauh dengan mengintegrasikan teknologi komunikasi ADSL sebagai media komunikasi jarak jauh serta membangun server database seismik untuk menyediakan data realtime dengan memanfaatkan *Database Management System (DBMS) MySQL dan Winston Wave Server (WWS)* sehingga menjadi satu sistem IoT (Internet of Thing) untuk pemantauan seismik gunungapi.

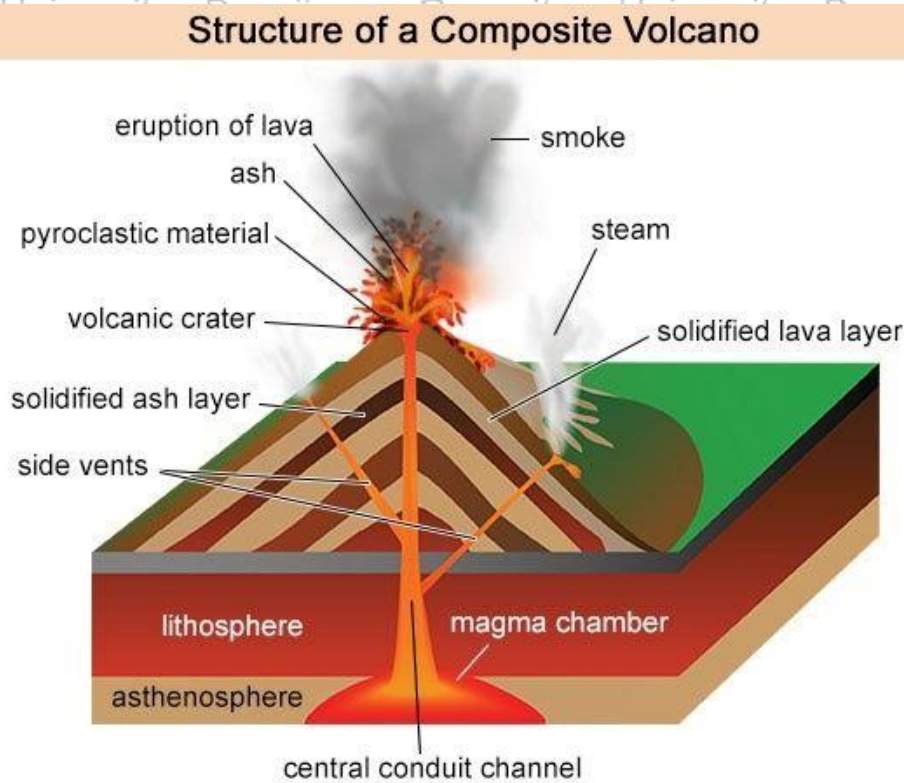
1.4. Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan kemajuan IoT yang diterapkan akan membantu menyediakan sebuah sistem akuisisi data seismik yang dapat diakses dimanapun dengan menggunakan internet, sehingga penelitian terkait Gunungapi dapat mudah dilaksanakan oleh kalangan mahasiswa maupun peneliti profesional. Terutama di negara Indonesia, yang memiliki banyak gunungapi akan tetapi ketersediaan data terbaru yang mudah diakses sangat minim.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gunungapi

Gunungapi adalah sebuah gunung, akan tetapi berbeda dengan gunung-gunung lainnya. Gunungapi tidak terbentuk akibat lipatan, erosi, atau gumpalan. Akan tetapi gunungapi terbentuk akibat dari hasil erupsi berupa lava, abu, dan tephra yang membeku. Gambar 2.1 adalah struktur dari gunungapi pada umumnya. Bentuk dari gunungapi cenderung mengerucut dengan lubang kawah di atasnya (Borgia, Aubert, Merle, & Van Wyk De Vries, 2010).



Gambar 2.1 Struktur gunungapi

Indonesia sendiri merupakan negara yang memiliki gunungapi paling banyak di dunia, ada sekitar 127 gunungapi aktif atau 13% dari seluruh gunungapi di dunia disepanjang laut Banda, Jawa, dan Sumatera. Gunungapi tersebar di jalur-jalur tertentu pada muka bumi, yaitu pada jalur pertemuan dua lempeng bumi,



titik titik panas tempat keluarnya magma di benua maupun samudera, dan pada jalur punggung tengah samudera (Borgia et al., 2010).

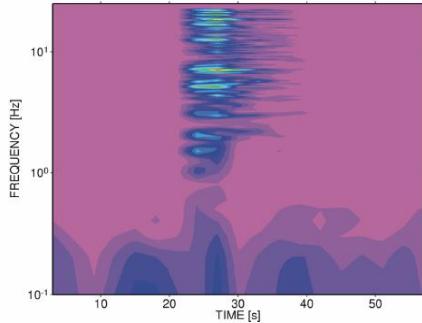
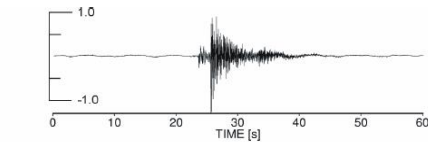
2.2. Klasifikasi Gempa Gunungapi

Sebagian besar kebingungan dalam seismolog gunung berapi disebabkan oleh sejumlah besar istilah yang berbeda untuk mengklasifikasikan peristiwa seismik gunung berapi. Hal ini disebabkan terutama oleh pengetahuan yang tidak sempurna tentang mekanisme sumber. Sebagian besar klasifikasi ini hanya menggambarkan tampilan gelombang dan frekuensi konten sinyal, sementara yang lain menyiratkan mekanisme sumber tertentu. Dalam kedua kasus diatas, bahwa sumbernya masih belum diketahui dan media propagasi dapat mengubah bentuk dan kandungan spektral sinyal secara signifikan.

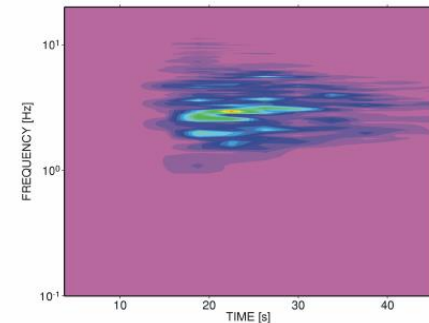
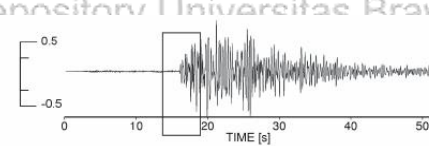
Berdasarkan karakteristik sinyal, seismik gunungapi dibagi menjadi dua bagian yaitu sinyal seismik kontinu (*continuous volcano-seismic signal*) dan sinyal seismik transien (*transient seismic signal*). Sinyal seismik transien di bedakan menjadi 4 macam gempa yaitu (J.Wasserman, 2000):

1. Gempa Vulkanik-Tektonik (VT)

Gempa VT dibedakan menjadi dua bagian, yaitu VT-A atau vulkanik dalam (kedalaman lebih dari 2 km). Peristiwa vulkanik-Tektonik (VT-A) memiliki waktu onset kedatangan gelombang P dan S yang dapat di bedakan dan konten memiliki frekuensi diatas 5 Hz, ditunjukkan pada gambar 2.2. Sedangkan VT-B atau juga disebut sebagai gempa vulkanik dangkal yang ditunjukkan pada gambar 2.3, merupakan gempa dengan kedalaman 1-2 km dengan kandungan frekuensi berkisar 1-5 Hz. Waktu tiba gelombang P dan S tidak dapat dibedakan (J.Wasserman, 2000).



(a)

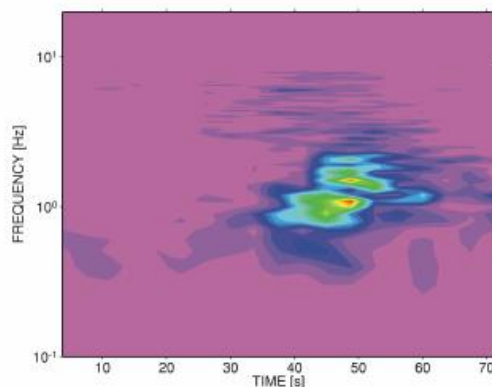
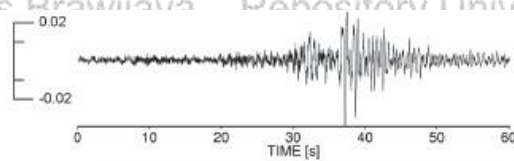


(b)

Gambar 2.2 Bentuk gelombang (*waveform*) dan spektrogram (a) Gempa VT-A; (b) Gempa VT-B (J.Wasserman, 2000)

2. Gempa Frekuensi Rendah

Peristiwa Frekuensi Rendah (LF atau Long Period - LP) tidak menunjukkan kedatangan gelombang-S (Gambar 2.4). Konten frekuensi sebagian besar dibatasi dalam pita sempit antara 1-3 Hz. Sumber LF sering terletak di bagian dangkal gunung berapi (<2 km). Penentuan kedalaman gempa lebih sering menggunakan kurva jarak amplitude daripada waktu tiba (J.Wasserman, 2000).

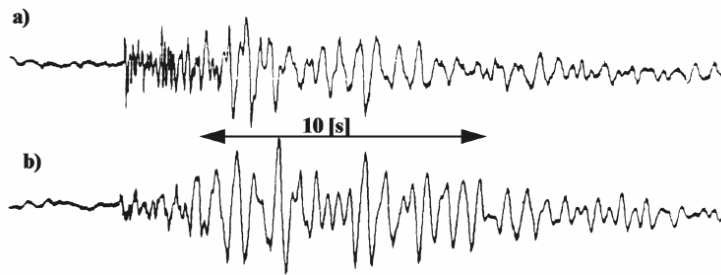


Gambar 2.3 Bentuk gelombang (*waveform*) dari gempa LF (J.Wasserman, 2000)



3. Gempa *Hybrid* dan Multi Fase

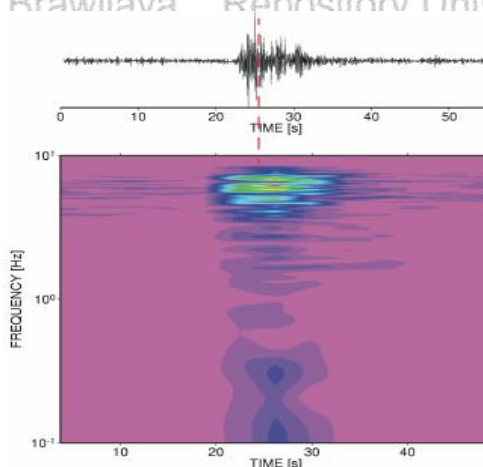
Gempa *hybrid* adalah refleksi dari kemungkinan campuran antara gempa VT dan LF (Gambar 2.4). Gempa *hybrid* dicirikan dengan adanya konten frekuensi tinggi di awal gempa selanjutnya memiliki karakteristik selayaknya gempa VT-B (J.Wasserman, 2000).



Gambar 2.4 Perbedaan bentuk gelombang (*waveform*) (a) Gempa *hybrid*; (b) Gempa VT-B (J.Wasserman, 2000)

4. Gempa Letusan/ Hembusan

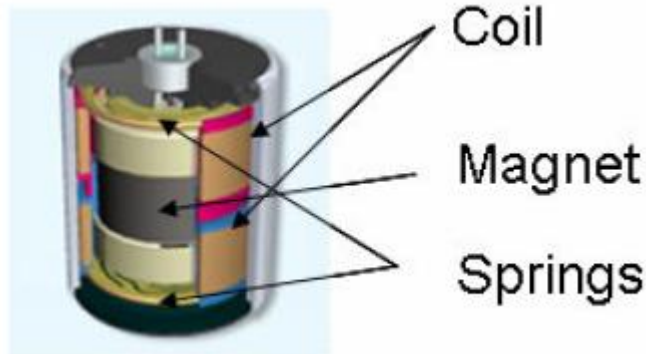
Gempa letusan (Gambar 2.5) merupakan gempa yang disertai dengan adanya letusan Strombolian atau letusan eksplosif lainnya (lebih besar). Sebagian besar dari sinyal-sinyal ini dapat diidentifikasi dengan terjadinya gelombang udara yang disebabkan oleh dorongan sonik selama ledakan, ketika gas meluas dari dalam kawah dan tereksansi kemudian terelaksasi ketika dekat dengan lubang kawah.



Gambar 2.5 Bentuk gelombang (*waveform*) dan spektral gempa letusan (J.Wasserman, 2000)

2.3. Sensor *Geophone*

Geofon didasarkan pada massa inersia (*proof mass*) yang di gantungkan pada pegas. Fungsinya sangat mirip mikrofon atau penguat suara, dengan magnet yang dikelilingi oleh gulungan kawat. Dalam geofon modern, magnet dipasang pada wadah geophone, dan koil mewakili *proof mass*. Frekuensi resonansi umumnya dalam kisaran 5 hingga 50 Hz (Hons, 2008). Struktur *geophone* ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Struktur sederhana dari *geophone* (Hons, 2008)

Sistem ini menggunakan induksi elektromagnetik, jadi, menurut hukum Faraday/Lenz:

$$v \approx \frac{dx}{dt} \quad (2.1)$$

di mana v adalah tegangan dan x adalah perpindahan magnet relatif terhadap koil, kecepatan *proof mass* relatif terhadap kasing diubah menjadi tegangan. Sistem tidak memberikan respons terhadap perbedaan posisi *proof mass*, hanya laju pergerakan antara dua posisi. Jadi, untuk data yang direkam melalui geophone, nilai yang terekam adalah kecepatan magnet relatif terhadap koil dikalikan dengan sensitivitas konstan dalam Volts per m/s. Sensor seismik didasarkan pada *proof mass* yang



digantungkan pada pegas, dan diatur oleh persamaan osilator harmonik sederhana berikut ini:

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + 2\lambda\omega_0 + \omega_0^2 = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.2)$$

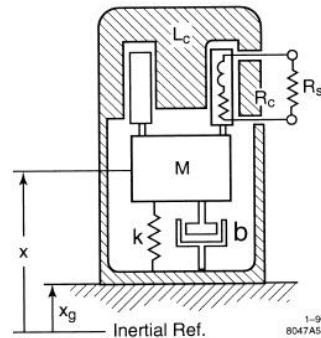
Dengan demikian, tegangan analog dari geophone dapat dituliskan:

$$V_G = S_G \frac{\partial x}{\partial t} \quad (2.3)$$

Diaman V_G adalah tegangan keluaran *geophone* dan S_G adalah sensitivitas *geophone*. Sensitivitas ditentukan oleh jumlah loop dalam koil dan kekuatan medan magnet. Karena kita juga tahu bagaimana gerakan *proof mass* terkait dengan gerakan tanah (melalui Persamaan 2.1), sehingga didapat semua yang diperlukan untuk menemukan ekspresi untuk tegangan output analog dalam yang proporsional terhadap gerakan tanah (Hons, 2008).

2.4. Sensor Mark L4

Geophone L4C adalah instrumen seismik yang menghasilkan tegangan sebanding dengan kecepatan, perbedaan antara massa M dan bodi sensor. Tegangan dihasilkan dalam pickup lilitan dan massa beban ketika magnet permanen yang melekat pada housing bergerak melewatinya. Sistem suspensi terdiri dari 1 kilogram massa yang digantungkan pada pegas lembut dengan frekuensi resonan sekitar 1 Hz. Gambar 2.7 merupakan contoh seismometer l4c dan struktur dari sensor tersebut (Bowden, 2003).

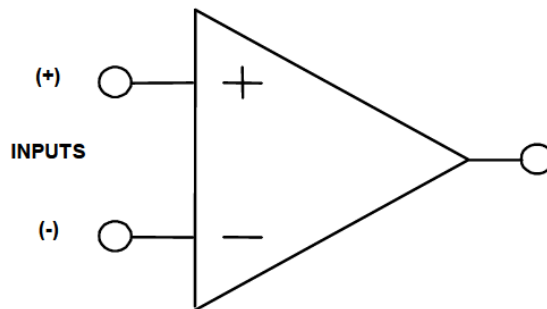


Gambar 2.7 Seismometer 14c dan struktur dari sensor tersebut (Bowden, 2003)

2.5. Penguat Operasional (OP-AMP)

Op amp adalah salah satu diagram blok dasar dari sebuah desain linier.

Dalam bentuk klasiknya terdiri dari dua terminal input, salah satunya membalik fase sinyal (-), yang lain tak membalik fase (+), dan terminal output. Simbol standar untuk OP-AMP diberikan pada Gambar 2.8 yang mengabaikan terminal catu daya, yang jelas diperlukan untuk operasi (Carter & Brown, 2016).



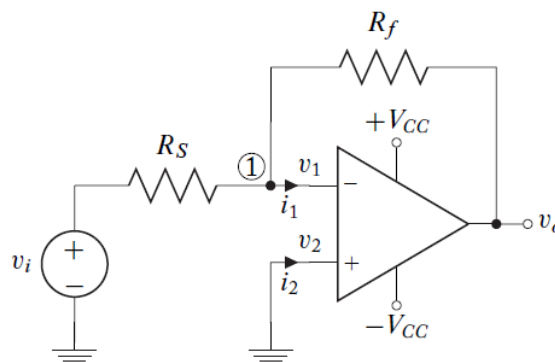
Gambar 2.8 Simbol standard sebuah OP-Amp (Carter & Brown, 2016)

Meskipun OP-AMP dapat digunakan dalam konfigurasi rangkaian yang tak terbatas, beberapa konfigurasi telah menjadi rangkaian dasar elektronik. Konfigurasi rangkaian OP-AMP yang umum ditemukan ini adalah penguat

pembalik (*inverting*), penguat penjumlah (*summing*), penguat non-pembalik (*non inverting*), penguat *differential*, *integrator*, dan *differentiator* (Thornton, 2015).

1. Penguat Pembalik (*Inverting*)

konfigurasi penguat pembalik yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 memperkuat dan membalikkan sinyal input di daerah operasi linier. rangkaian terdiri dari resistor R_s secara seri dengan sumber tegangan V_i terhubung ke input pembalik dari OP-AMP. input non-pembalik dari OP-AMP dihubungkan singkat ke ground. Sebuah resistor R_f terhubung ke output dan memberikan jalur umpan balik negatif ke terminal input pembalik. Karena resistansi keluaran dari OP-AMP hampir nol, tegangan keluaran V_o tidak akan bergantung pada arus yang mungkin disuplai ke resistor beban yang terhubung antara keluaran dan ground (Thornton, 2015).



Gambar 2.9 Konfigurasi rangkaian pembalik (*inverting*) (Thornton, 2015)

Untuk sebagian besar Op Amps, analisis rangkaian adalah dengan mengasumsikan bahwa karakteristik mereka adalah OP-AMP ideal. Oleh karena itu, analisis penguat pembalik dapat dilanjutkan menggunakan batasan tegangan dan arus dari persamaan 2.4 dan 2.5.



$$v_1 = v_2 \quad (2.4)$$

$$i_1 = i_2 \approx 0 \quad (2.5)$$

karena v_2 terhubung ke ground, maka

$$v_2 = 0 \quad (2.6)$$

Input terminal pembalik (-) dikatakan sebagai *ground virtual* karena hubungan pendek virtual antara terminal pembalik dan non-pembalik (yang di *ground*-kan)

sebagaimana didefinisikan oleh batasan tegangan diatas. Dengan demikian,

$$v_1 = v_2 = 0 \quad (2.7)$$

$$0 = \frac{v_i - v_1}{R_s} + \frac{v_o - v_1}{R_f} \quad (2.8)$$

$$0 = \frac{v_i}{R_s} + \frac{v_o}{R_f} \quad (2.9)$$

besarnya penguatan tegangan (*gain*) yaitu,

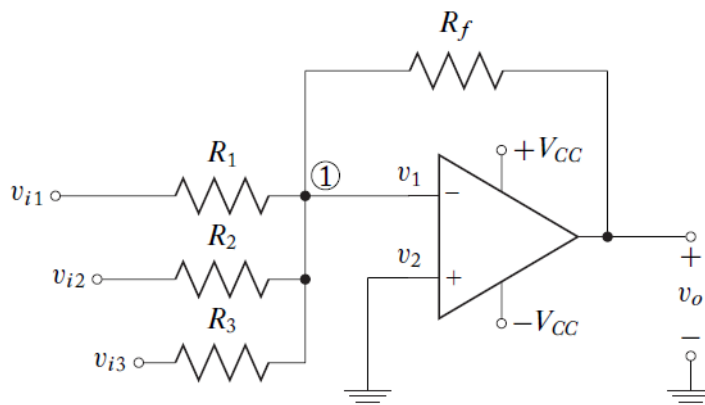
$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_f}{R_s} \quad (2.10)$$

dan besarnya tegangan keluaran adalah,

$$v_o = -\frac{R_f}{R_s} v_i \quad (2.11)$$

2. Penguat Penjumlah (*Summing*)

Tegangan keluaran penguat penjumlahan adalah jumlah tegangan input yang dibalik yang diperbesar. Sebuah penguat penjumlahan secara teoritis dapat memiliki sejumlah besar tegangan input. Gambar 2.10 menunjukkan penguat penjumlahan dengan tiga input, v_{i1} , v_{i2} , dan v_{i3} (Thornton, 2015).



Gambar 2. 10 Rangkaian penguat penjumlah dengan tiga masukan (Thornton, 2015)

Menggunakan metode tegangan simpul dengan menjumlahkan arus yang masuk ke *node* 1 diberikan oleh persamaan berikut:

$$0 = \frac{v_{i1} - v_1}{R_1} + \frac{v_{i2} - v_1}{R_2} + \frac{v_{i3} - v_1}{R_3} + \frac{v_o - v_1}{R_f} \quad (2.12)$$

Karena v_2 terhubung ke ground dan menyebabkan v_1 menjadi *virtual ground*,

$$v_1 = v_2 \approx 0 \quad (2.13)$$

sehingga persamaan 2.12 menjadi,

$$0 = \frac{v_{i1}}{R_1} + \frac{v_{i2}}{R_2} + \frac{v_{i3}}{R_3} + \frac{v_o}{R_f} \quad (2.14)$$

Output dari rangkaian penjumlah diberikan oleh persamaan berikut ini.

$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} v_{i1}\right) + \left(\frac{R_f}{R_2} v_{i2}\right) + \left(\frac{R_f}{R_3} v_{i3}\right) \quad (2.15)$$

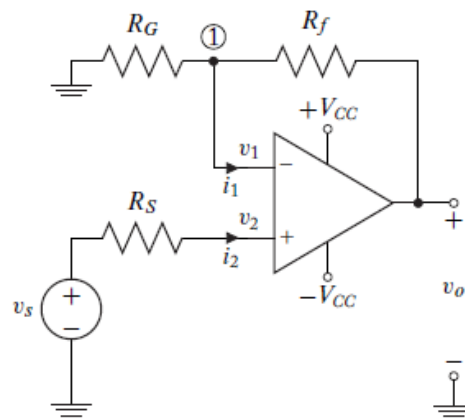
Jika nilai $R_1 = R_2 = R_3$, maka persamaan 2.15 menjadi,

$$v_o = -\frac{R_f}{R_s} (v_{i1} + v_{i2} + v_{i3}) \quad (2.16)$$



3. Penguat Tak Pembalik (*Non-Inverting*)

Penguat non-pembalik ditunjukkan pada Gambar 2.11 di mana tegangan sumber diwakili oleh v_s dan resistansi seri R_s . Analisis penguat non-pembalik pada Gambar 2.11 mengasumsikan operasi OP-AMP ideal dalam daerah liniernya. Batasan tegangan dan arus pada input ke OP-AMP menghasilkan tegangan pada *node* 1 (Thornton, 2015).



Gambar 2.11 Rangkaian tak pembalik (*non-inverting*) (Thornton, 2015)

$$v_1 = v_2 = v_s \quad (2.17)$$

Karena $i_1 = i_2 = 0$, Menggunakan metode analisis *node* tegangan, jumlah arus yang mengalir ke *node* 1 adalah

$$0 = \frac{0 - v_1}{R_G} + \frac{v_o - v_1}{R_f} \quad (2.18)$$

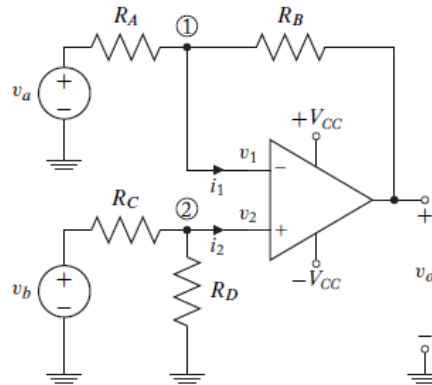
$$\frac{v_1}{R_G} = \frac{v_o - v_1}{R_f} \quad (2.19)$$

Untuk mencari tegangan output v_o dapat menggunakan batasan voltase, $v_1 = v_s$ sehingga,

$$v_o = v_i \left(1 + \frac{R_f}{R_G} \right) \quad (2.20)$$

4. Penguat *Differential*

Sinyal tegangan output dari penguat perbedaan sebanding dengan perbedaan dari dua sinyal tegangan input. Skema penguat perbedaan ditunjukkan pada Gambar 2.12(Thornton, 2015).



Gambar 2.12 Penguat *differential*(Thornton, 2015)

Dengan mengasumsikan OpAmp ideal beroperasi di wilayah linier, batasan arus dapat digunakan untuk menghasilkan tegangan pada *node* 1 dan 2 sebagai pembagian tegangan sederhana pada input non-pemalik:

$$v_1 = v_2 = v_b \left(\frac{R_D}{R_C + R_D} \right) \quad (2.21)$$

metode analisis tegangan *node* digunakan untuk menentukan tegangan keluaran v_o sehubungan dengan tegangan input v_a dan v_b ,

$$0 = \frac{v_a - v_1}{R_A} + \frac{v_o - v_1}{R_B} \quad (2.22)$$

untuk hasil tegangan output v_o ,

$$v_o = \frac{R_B}{R_A} (v_1 - v_a) + v_1 \quad (2.23)$$



Substitusi Persamaan (2.21) kedalam (2.23) akan memberikan tegangan output sebagai fungsi dari tegangan input,

$$v_o = \frac{R_D}{R_C + R_D} \left(\frac{R_B}{R_A} + 1 \right) v_b - \left(\frac{R_B}{R_A} v_a \right) \quad (2.24)$$

Hasil tegangan keluaran dalam persamaan (2.24) dapat disederhanakan untuk kasus khusus di mana rasio resistor diberikan oleh:

$$\frac{R_A}{R_C} = \frac{R_C}{R_D} \quad (2.25)$$

Dengan menerapkan rasio persamaan (2.25), tegangan output dalam persamaan (2.24) disederhanakan menjadi perbedaan skala dari tegangan input,

$$v_o = \frac{R_B}{R_A} (v_b - v_a) \quad (2.26)$$

Penguat *differential* biasanya digunakan dalam rangkaian yang membutuhkan perbandingan dua sinyal untuk mengontrol sinyal ketiga (atau keluaran). Misalnya, v_a bisa berupa pembacaan tegangan yang mewakili suhu dari termistor (resistor yang mengubah nilai dengan suhu) dan v_b tegangan referensi yang mewakili pengaturan suhu. output dari penguat perbedaan kemudian akan menjadi penyimpangan suhu yang diukur dari pengaturan suhu referensi (Thornton, 2015).

2.6. Rangkaian Filter Aktif Topologi Sallen-key

Ada banyak cara membuat filter aktif. Satu sirkuit umum yang banyak digunakan adalah sirkuit Sallen dan Key. sirkuit Sallen dan Key disebut sebagai VCVS karena menggunakan op-amp dan dua resistor yang terhubung sehingga menjadi rangkaian *voltage-controlled voltage source* (VCVS). Konfigurasi seperti



ini menawarkan stabilitas yang baik, membutuhkan jumlah elemen minimum, dan memiliki impedansi rendah, yang penting untuk filter cascading dengan empat *pole* atau lebih (S. A. Pactitis, 2007).

Sirkuit filter digunakan dalam berbagai macam aplikasi. Di bidang telekomunikasi, filter band-pass digunakan dalam rentang frekuensi audio (0-20 kHz) untuk modem dan pemrosesan suara. Filter band-pass frekuensi tinggi (beberapa ratus MHz) digunakan untuk pemilihan saluran di kantor pusat telepon.

Sistem akuisisi data biasanya memerlukan filter antialiasing low-pass dan juga low-pass noise dalam tahap pengkondisian sinyal sebelumnya. Catu daya sistem sering menggunakan filter penolakan-band untuk menekan frekuensi garis 60 Hz dan transien frekuensi tinggi (Mara E. Conner, 2018).

Selain itu, ada filter yang tidak memfilter frekuensi sinyal input kompleks, tetapi hanya menambahkan pergeseran fase linier ke setiap komponen frekuensi, sehingga berkontribusi terhadap penundaan waktu yang konstan. Ini disebut *all-pass* filter. Pada frekuensi tinggi (> 1 MHz), semua filter ini biasanya terdiri dari komponen pasif seperti induktor (L), resistor (R), dan kapasitor (C). Mereka kemudian disebut filter LRC. Namun, dalam rentang frekuensi yang lebih rendah (1 Hz ke 1 MHz), nilai induktor menjadi sangat besar dan induktor itu sendiri menjadi cukup besar, sehingga tidak praktis. Dalam kasus ini, filter aktif menjadi penting.

Filter aktif adalah sirkuit yang menggunakan penguat operasional (op amp) sebagai perangkat aktif yang dikombinasikan dengan beberapa resistor dan kapasitor untuk memberikan kinerja filter mirip LRC pada frekuensi rendah. Terdapat tiga optimasi filter utama yaitu Butterworth, Tschebyscheff, dan Bessel, diikuti oleh

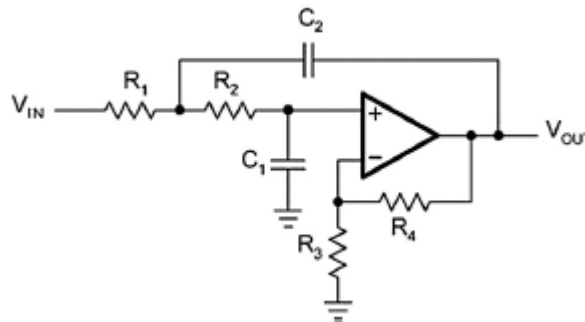


lima bagian yang menggambarkan aplikasi filter aktif yang paling umum: *low-pass*, *high-pass*, *band-pass*, *band-pass*, *band-rejection*, dan *all-pass* filter.

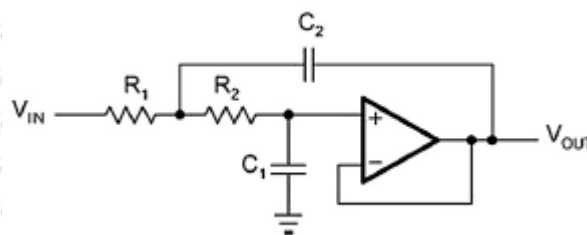
1. *Low-Pass* Filter Orde 2 Topologi *Sallen-Key*

Topologi *Sallen-Key* umum pada Gambar 2.13 memungkinkan untuk pengaturan gain terpisah melalui $v_o = 1 + \left(\frac{R_4}{R_3}\right)$. Namun, topologi *unity-gain* pada

Gambar 2.14 biasanya diterapkan dalam desain filter dengan akurasi gain tinggi, gain satu, dan Q_s rendah ($Q < 3$).



Gambar 2.13 Topologi *Sallen-Key* yang umum digunakan (Mara E. Conner, 2018)



Gambar 2.14 Topologi *Sallen-Key* *unity gain* (Mara E. Conner, 2018)

Fungsi transfer dari rangkaian pada gambar 2.13 sebagai berikut:

$$A_s = \frac{A_o}{1 + \omega_c [C_1(R_1 + R_2)s + (1 - A_o)R_1C_2] + \omega_c^2 R_1R_2C_1C_2s^2} \quad (2.27)$$

Untuk *unity gain* pada gambar 2.14, $A_o = 1$, maka fungsi transfernya menjadi,



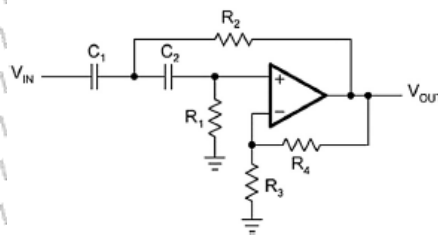
$$A_s = \frac{1}{1 + \omega_c C_1 (R_1 + R_2) s + \omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2 s^2} \quad (2.28)$$

Frekuensi *cut-off* untuk rangkaian filter *low-pass sallen-key* orde 2 adalah sebagai berikut

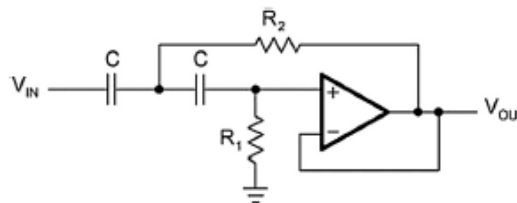
$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2.29)$$

2. *Low-Pass Filter* Orde 2 Topologi *Sallen-Key*

Filter *high-pass* menggunakan topologi yang sama dengan filter *low-pass*: *SalleneKey* dan *MFB*. Perbedaannya adalah bahwa posisi resistor dan kapasitor telah berubah. Topologi filter *high-pass Sallene-Key* yang umum pada Gambar 2.15 memungkinkan untuk pengaturan gain terpisah melalui $v_o = 1 + \left(\frac{R_4}{R_3}\right)$. Namun, topologi *unity-gain* pada Gambar 2.16 biasanya diterapkan dalam desain filter dengan akurasi gain tinggi, gain satu, dan *Qs* rendah ($Q < 3$). (Mara E. Conner, 2018).



Gambar 2.15 Topologi *Sallen-Key* yang umum digunakan (Mara E. Conner, 2018)



Gambar 2.16 Topologi *Sallen-Key unity gain* (Mara E. Conner, 2018)



Fungsi transfer untuk rangkaian pada gambar 2.15 adalah,

$$A_s = \frac{\alpha}{1 + \frac{R_2(C_1+C_2)+R_1C_2(1+\alpha)}{\omega_c R_1 R_2 C_1 C_2} \frac{1}{s} + \frac{1}{\omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2} \frac{1}{s^2}} \text{ dengan } \alpha = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad (2.30)$$

Fungsi transfer rangkaian pada Gambar 2.16 dengan $\alpha = 1$ dan $C_1 = C_2 = C$ adalah sebagai berikut,

$$A_s = \frac{1}{1 + \frac{2}{\omega_c R_1 C} \frac{1}{s} + \frac{2}{\omega_c^2 R_1 R_2 C^2} \frac{1}{s^2}}$$

Frekuensi *cut-off* untuk rangkaian filter *high-pass sallen-key* orde 2 adalah sebagai berikut

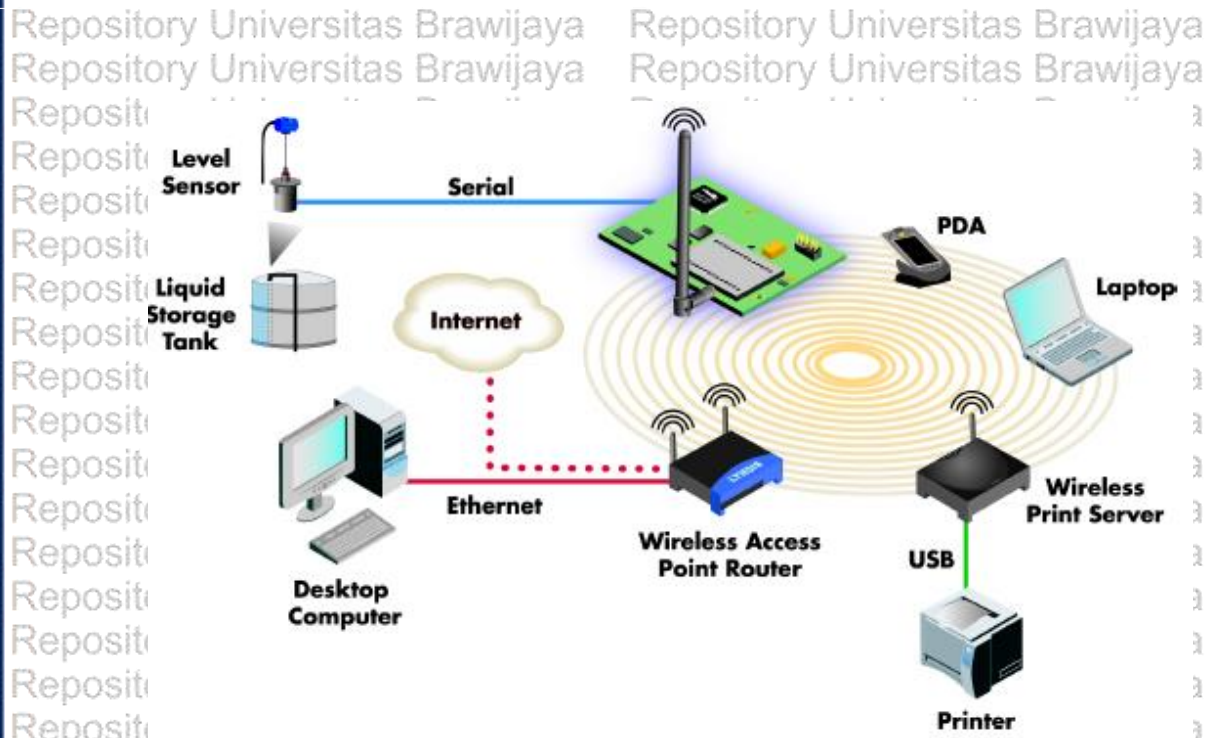
$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2.31)$$

2.7. Komunikasi Nirkabel

Visi komunikasi nirkabel yang mendukung pertukaran informasi antara orang atau perangkat adalah batas komunikasi beberapa dekade mendatang, dan sebagian besar sudah ada dalam beberapa bentuk. Visi ini akan memungkinkan komunikasi multimedia dari mana saja di dunia menggunakan perangkat genggam kecil atau laptop. Jaringan nirkabel akan menghubungkan tablet, laptop, dan komputer desktop di mana saja di dalam gedung perkantoran atau kampus, serta dari kafe atau lokasi lainnya. Pada *smart home*, jaringan semacam ini akan memungkinkan perangkat elektronik cerdas yang dapat berinteraksi satu sama lain dan dengan Internet selain menyediakan konektivitas antara komputer, telepon, dan sistem keamanan / pemantauan. *Smart home* semacam itu juga dapat membantu orang lanjut usia dan orang cacat dalam hal interaksi, pemantauan pasien, dan tanggap darurat. *Multimedia* nirkabel akan menyebar ke rumah dan di mana saja



orang berkumpul. Video teleconferencing akan berlangsung di antara gedung-gedung yang terpisah dari satu blok atau benua. Sensor nirkabel terdapat dalam sejumlah besar aplikasi komersial dan militer. Aplikasi komersial meliputi pemantauan bahaya kebakaran, lokasi limbah berbahaya, tekanan dan tekanan pada bangunan dan jembatan, pergerakan karbon dioksida dan penyebaran bahan kimia dan gas di lokasi bencana. Sensor nirkabel ini mengkonfigurasi sendiri ke dalam jaringan untuk memproses dan menginterpretasikan pengukuran sensor dan kemudian menyampaikan informasi ini ke lokasi kontrol terpusat. Aplikasi militer meliputi identifikasi dan pelacakan target musuh, deteksi serangan kimia dan biologis, dukungan kendaraan robot tak berawak, dan anti-terorisme. Akhirnya, jaringan nirkabel memungkinkan sistem kontrol terdistribusi, dengan perangkat jarak jauh, sensor, dan aktuator yang dihubungkan bersama melalui saluran komunikasi nirkabel. Jaringan semacam itu memungkinkan jalan raya otomatis, robot seluler, dan otomasi industri yang mudah dikonfigurasi ulang. Jaringan Nirkabel menawarkan banyak manfaat dalam beragam aplikasi. Gambar 2.17 mengilustrasikan peran jaringan wireless dalam aplikasi pemantauan sensor (Goldsmith, 2005).



Gambar 2.17 Jaringan Area Lokal Nirkabel (WLAN) Terhubung ke Internet (Rabbit, 2007)

Selama beberapa tahun terakhir, Wireless Fidelity atau "WiFi" dengan cepat berkembang menjadi standar LAN nirkabel yang dominan. Karena beroperasi di pita frekuensi yang tidak berlisensi, siapa pun dapat mengatur jaringan WiFi dan mencakup area seluas 100-500 kaki dengan akses nirkabel berkecepatan tinggi ke LAN dan ke Internet. Tidak seperti teknologi nirkabel lain seperti GSM atau CDMA, WiFi juga menjadi standar universal. Akibatnya, komponen WiFi sekarang berada pada kurva pengurangan biaya yang cepat seiring dengan peningkatan volume. Dan itu didistribusikan secara luas dan digunakan di berbagai belahan dunia (Al-alawi, 2015).

Apa manfaat Wi-Fi dari jaringan kabel yang lebih tradisional? Secara khusus, apa manfaat jaringan nirkabel untuk aplikasi *embedded system*? diagram pada Gambar 2.17, dapat dilihat fleksibilitas luar biasa yang dibawa oleh koneksi nirkabel ke aplikasi *embedded system*. Penggunaan jaringan nirkabel memberikan



lebih banyak pilihan untuk pemantauan, kontrol, dan penyebaran informasi. Secara praktis, lokasi terpencil menjadi lebih mudah diakses dan biaya bias lebih di minimalkan. Berikut merupakan beberapa manfaat dari jaringan Wi-Fi (Rabbit, 2007):

- **Ethernet nirkabel.** Wi-Fi adalah pengganti Ethernet. Wi-Fi dan Ethernet, keduanya jaringan IEEE 802, berbagi beberapa elemen inti.
- **Akses luas.** Tidak diperlukan jaringan wire tambahan untuk memperluas akses ke tempat-tempat di mana kabel dan kabel tidak bisa dijangkau atau ke tempat yang membutuhkan biaya mahal untuk memperluas jaringan menggunakan kabel.
- **Pengurangan biaya.** Seperti disebutkan di atas, tidak diperlukanya kabel dapat menurunkan biaya. Ini dilakukan dengan kombinasi berbagai faktor, biaya router nirkabel yang relatif rendah, tidak perlu penggalian, pengeboran, dan metode lain yang mungkin diperlukan untuk membuat koneksi fisik.
- **Mobilitas.** Koneksi Kabel mengikat kita hanya ke satu lokasi. Dengan menggunakan koneksi nirkabel berarti kita memiliki kebebasan untuk mengubah lokasi tanpa kehilangan konektivitas.
- **Fleksibilitas.** Akses yang lebih luas, pengurangan biaya, dan mobilitas menciptakan peluang untuk aplikasi baru serta kemungkinan solusi baru yang kreatif untuk aplikasi lama.

Standar IEEE802.11 dirilis oleh komite standar IEEE (LAN / MAN) pada Juni 1997. Sejak itu beberapa upgrade telah dirilis untuk mengejar kemajuan teknologi komunikasi yang disebutkan sebelumnya. Tabel 2.1 memperlihatkan

daftar spesifikasi teknis versi IEEE802.11 versi a, b, g, n, dan ac yang telah dipakai dan dikembangkan saat ini (Babiker, Abdelrahman, & Mustafa, 2015).

Tabel 2.1 Perbandingan Antara IEEE 802.11a, b, g, n dan ac (Babiker et al., 2015)

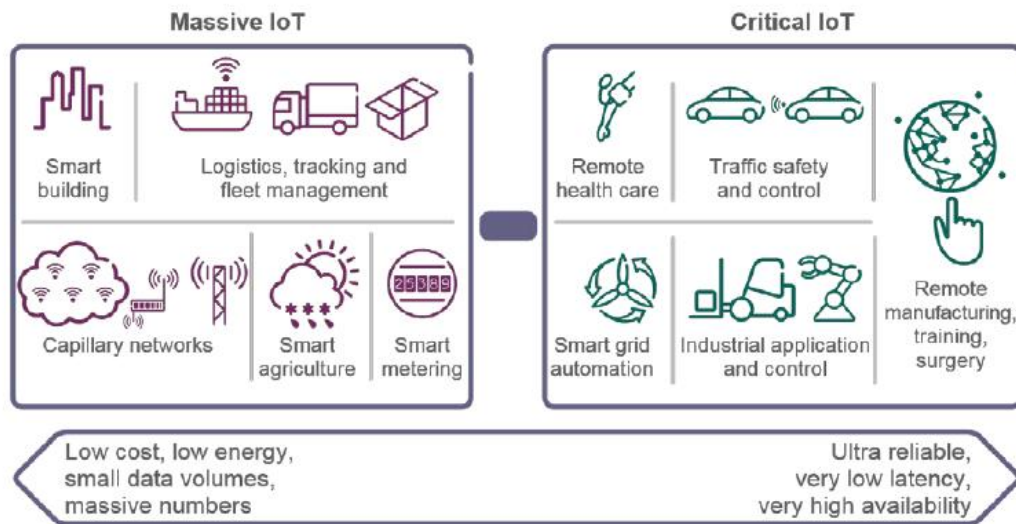
| 802.11 Standard Jaringan | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------|--------------------|---------------------|-----------|-------|--------------------------|---------------------------------|-----------|------------|
| Protokol 802.11 | Tanggal Rilis | Frekuensi (GHz) | Band-width (MHz) | Data rate | | Jumlah MIMO stream | Teknologi Modulasi Antena | Jangkauan | |
| | | | | Min | Max | | | In (m) | Out (m) |
| 802.11 | Juni 1997 | 2.4 | 22 | 1 | 2 | 1 | DSSS, FHSS | 20 | 100 |
| a | Sep. 1999 | 5 3.7 | 20 | 6 | 54 | 1 | OFDM (SISO) | 35 | 120 5k |
| b | Sep. 1999 | 2.4 | 22 | 1 | 11 | 1 | DSSS (SISO) | 35 | 140 |
| g | Juni 2003 | 2.4 | 20 | 6 | 54 | 1 | OFDM, DSSS (SISO) | 38 | 140 |
| n | Okt. 2009 | 2.4 | 20 | 7.2 | 72.2 | 1 | OFDM (MIMO) | 70 | 250 |
| | | 5 | 40 | 15 | 150 | 4 | | 70 | 250 |
| ac | Des. 2013 | 5 | 20 | 7.2 | 96.3 | 8 | OFDM (MU- MIMO) | 35 | |
| | | | 40 | 15 | 200 | | | | |
| | | | 80 | 32.5 | 433.3 | | | | |
| | | | 160 | 65 | 866.7 | | | | |

2.8. Internet of Thing (IoT)

Internet of Things (IOT) mengacu pada penggunaan perangkat yang terhubung cerdas dan sistem data leverage yang dikumpulkan oleh sensor tertanam dan aktuator di mesin dan benda-benda fisik lainnya. IoT diperkirakan akan menyebar dengan cepat di tahun-tahun mendatang dan konvergensi ini akan melepaskan dimensi layanan baru yang meningkatkan kualitas hidup konsumen dan produktivitas perusahaan dan hasil produksi (GSM Association, 2014).

IoT, awalnya disebut sebagai Machine-to-Machine (M2M), merupakan salah satu peluang pertumbuhan utama bagi penyedia layanan telekomunikasi dan perusahaan dari berbagai ukuran dalam dekade berikutnya. IoT mewakili semua perangkat yang terhubung ke internet dan dapat berkomunikasi dengan perangkat lain yang terhubung melalui jaringan nirkabel dan sensor tertanam, yang telah berkembang dari waktu ke waktu dan dengan perkembangan teknologi. berbagai

kasus penggunaan IoT, penyebaran Massive IoT (MIOT) serta solusi yang lebih maju yang dapat dikategorikan sebagai IoT Kritis. Gambar 2.18 menampilkan aplikasi untuk teknologi M-IoT dan Critical IoT (Americans, 2019).



Gambar 2. 18 Perbandingan antara *Massive IoT (M-IoT)* dan *Critical IoT*(Americans, 2019)

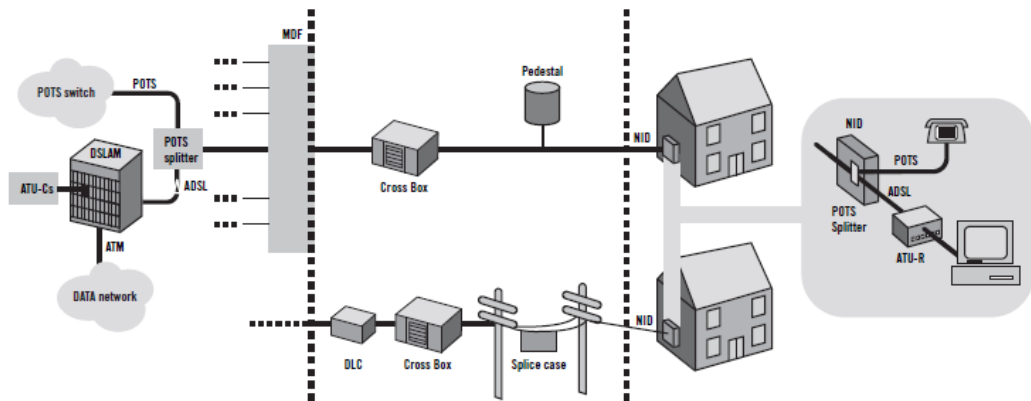
Sistem IoT akan menyentuh hampir setiap aspek kehidupan. Karena itu berguna untuk mengelompokkan sistem ini berdasarkan aplikasinya. Satu cara sederhana dan luas untuk melakukannya adalah menyortir berdasarkan apakah perangkat atau sistem IoT untuk penggunaan konsumen atau industri. Daftar di bawah ini memberikan deskripsi kategori untuk perangkat IoT (Kim & Zazo, 2019).

- **Smart Wearables**, seperti pelacak yang memantau metrik kesehatan, pola tidur, atau kinerja olahraga. Juga, perangkat digital untuk komunikasi, navigasi.
- **Smart Home Devices**, perangkat untuk penerangan, pemanas dan pendingin udara, keamanan, atau sanitasi.
- **Proyek Smart City**, seperti inisiatif untuk infrastruktur pintar (misal, Kontrol lalu lintas, parkir pintar, pengelolaan limbah).

- **Sistem Lingkungan Cerdas**, mengukur kualitas udara / air, memantau iklim, memfasilitasi pengelolaan pertanian, atau mendukung pencegahan bencana.
- **Smart Enterprise**, mencakup fungsi tujuan umum untuk industri, seperti logistik dan transportasi, otomatisasi lini produk, atau manajemen persediaan ritel.

2.9. Teknologi Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)

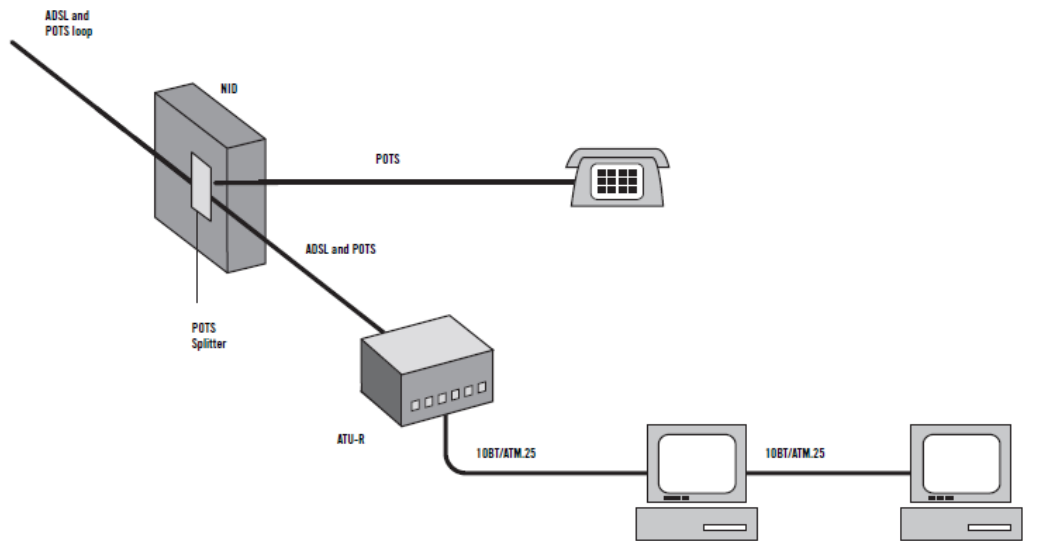
Asymmetric digital subscriber line (ADSL) menggunakan saluran telepon twisted pair yang ada untuk membuat jalur akses untuk komunikasi data berkecepatan tinggi dan mentransmisikan pada kecepatan hingga 8,1 Mbps ke pelanggan. Teknologi yang menarik ini sedang dalam proses mengatasi batas teknologi dari jaringan telepon umum dengan memungkinkan pengiriman akses Internet berkecepatan tinggi ke sebagian besar rumah pelanggan dengan biaya yang sangat terjangkau. Arsitektur loop standar diilustrasikan pada Gambar 2.19 (Systems, 1999).



Gambar 2.19 Arsitektur loop standar jaringan ADSL (R. Zhang & Wang, 2010)

Modem yang terletak di lokasi pelanggan disebut *ADSL Transceiver Unit-Remote (ATU-R)*, dan modem di kantor pusat disebut *ADSL Transceiver Unit-Central Office (ATU-C)*. ATU-C berupa kartu

sirkuit yang dipasang di *Digital Multiplexer Access Multiplexer* (DSLAM). Pelanggan perumahan atau bisnis menghubungkan PC dan modem mereka ke outlet telepon RJ-11 di dinding. Kabel rumah yang ada biasanya membawa sinyal ADSL ke NID yang terletak di lokasi (R. Zhang & Wang, 2010).



Gambar 2. 20 Jalur di tempat pelanggan (R. Zhang & Wang, 2010)

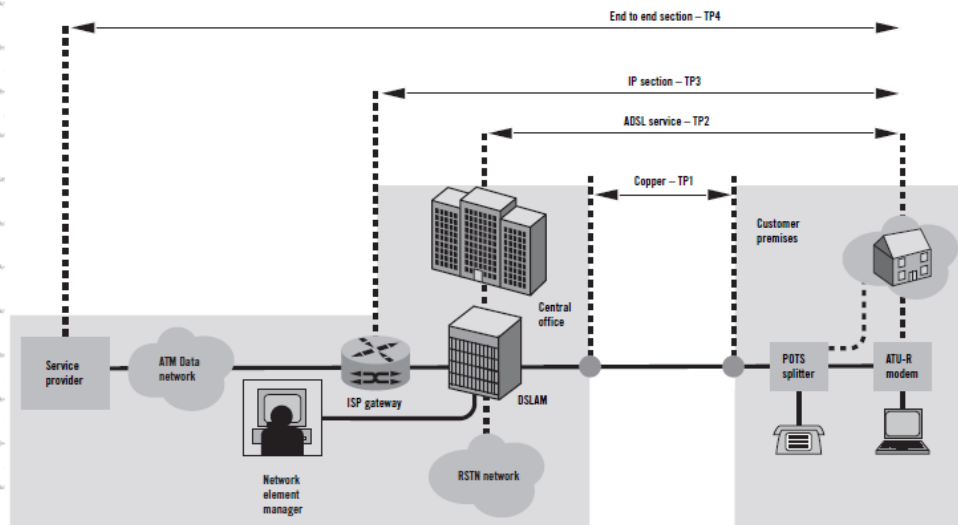
Di kantor pusat, kerangka distribusi utama mengumpulkan kabel dari banyak pelanggan dan menggunakan splitter untuk mendistribusikan lalu lintas data ke DSLAM dan merutekan lalu lintas telepon biasa melalui koneksi E1 / T1 ke jaringan telepon sakelar publik (PSTN). DSLAM menggabungkan layanan DSL dari pelanggan yang berbeda ke dalam sirkuit virtual ATM. Seringkali, konsentrator DSLAM digunakan dalam kasus di mana ILEC atau CLEC memiliki banyak DSLAM yang didistribusikan di wilayah geografis yang luas. DSLAM berisi ATU-Cs di mana sinyal ADSL dilipatgandakan ke antarmuka berkecepatan tinggi yang terhubung ke jaringan ATM. Jaringan ATM ini menyediakan akses ke internet melalui penyedia layanan internet (ISP). Penyedia DSL membundel lalu lintas yang ditujukan untuk ISP yang diberikan dan mengirimkannya melalui koneksi E3 / T3



atau STM-1 / OC-3c. Server akses jarak jauh broadband (BRAS) mengakhiri sesi IP pelanggan dan mengarahkannya ke tulang punggung Internet (R. Zhang & Wang, 2010).

Dalam kebanyakan kasus, splitter POTS di perangkat antarmuka jaringan (NID) dan kantor pusat memungkinkan loop tembaga digunakan secara bersamaan untuk layanan ADSL dan POTS berkecepatan tinggi. Saluran POTS dipisahkan dari saluran ADSL oleh filter pasif, low-pass / high-pass yang memisahkan sinyal - frekuensi rendah untuk POTS dan frekuensi tinggi untuk ADSL - mengarahkan masing-masing ke pasangan kabel yang terpisah. Splitter juga melindungi sinyal ADSL dari transien POTS yang berasal dari handset yang aktif dan tidak terhubung.

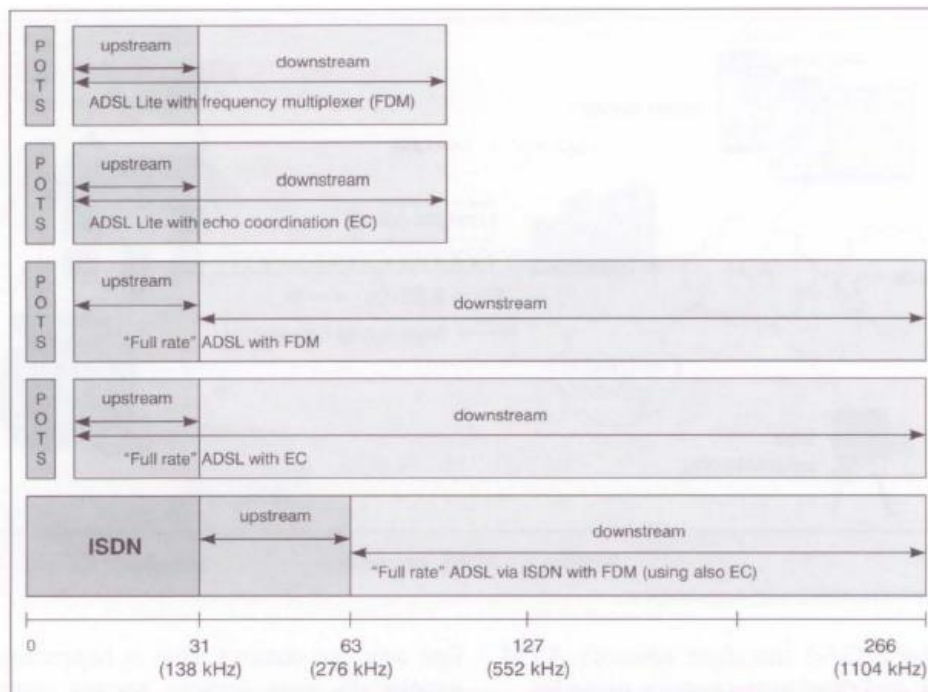
Layanan ADSL dapat diinstal tanpa menggunakan "splitter" di NID. Sebaliknya, filter mikro ditempatkan sejajar dengan jack telepon di setiap lokasi telepon. Meskipun konfigurasi ini mengorbankan beberapa tingkat kinerja, ini memungkinkan pelanggan untuk menginstal sendiri CPE. Biasanya, filter mikro dikemas dengan modem ADSL dalam kit instal mandiri. Gambar 2.21 menggambarkan berbagai titik uji untuk layanan ADSL (R. Zhang & Wang, 2010).



Gambar 2.21 Layer jaringan ADSL (R. Zhang & Wang, 2010)

Kecepatan maksimum koneksi ADSL standar adalah 8 Mbit/s di arah hilir (dari Internet ke pengguna ADSL) dan hingga 1 Mbit/s ke atas (dari pengguna ADSL ke jaringan). Modem ADSL pada *twisted-pair* tembaga menciptakan tiga pita frekuensi terpisah (gambar 2.22), satu pita untuk transmisi data ke pengguna, yang kedua untuk transmisi data dalam arah dari pengguna ke jaringan dan yang ketiga untuk POTS suara atau saluran ISDN-BA yang ada. Saluran POTS atau ISDN-BA dipisahkan dari dua saluran lainnya oleh pemisah filter pasif (splitter) dan beroperasi secara terpisah dari perangkat ADSL. Perangkat ADSL pada koneksi telepon bereaksi terhadap gangguan. Untuk memisahkan saluran data pada garis antarmuka, ADSL generasi pertama menggunakan frekuensi multiplexer (FDM), dan sistem generasi kedua menggunakan pembatalan gema. Untuk transmisi data melalui saluran telepon yang ada, teknologi ADSL menggunakan modulasi multi-nada diskrit (DMT). DMT membagi bandwidth yang berguna pada pasangan tembaga menjadi 256 saluran (nada) dengan bandwidth 4,3125 kHz. Dengan menggunakan saluran-saluran ini, DMT dapat dengan tepat menentukan

karakteristik garis di setiap saluran ini, dan jumlah bit yang ditransmisikan di setiap saluran ditentukan berdasarkan rasio noise-sinyal. Setiap saluran menyediakan kecepatan transmisi maksimum 32 kbit / s. Kecepatan transmisi data menggunakan saluran telepon ADSL yang ditingkatkan tergantung pada banyak faktor, terutama pada panjang saluran, diameter kabel tembaga, adanya split dan interferensi. Dengan antarmuka ADSL fungsi adaptasi kecepatan didefinisikan. Kecepatan saluran ADSL disesuaikan secara dinamis dengan kondisi saluran saat ini (Hrvatska & Infrastructure, 2002).



Gambar 2.22 Pembagian frekuensi unuk transmisi data ADSL(Hrvatska & Infrastructure, 2002)

2.10. Database Management System (DBMS): SQL

Database Management System atau DBMS secara singkat mengacu pada teknologi menyimpan dan mengambil data pengguna dengan efisiensi maksimal bersama dengan langkah-langkah keamanan yang tepat. DBMS memungkinkan



penggunanya untuk membuat database mereka sendiri sesuai kebutuhan mereka.

Basis data ini sangat dapat dikonfigurasi dan menawarkan banyak opsi. Area sistem manajemen basis data adalah mikrokosmos ilmu komputer secara umum. Masalah yang dibahas dan teknik yang digunakan menjangkau spektrum yang luas, termasuk bahasa, orientasi objek dan paradigma pemrograman lainnya, kompilasi, sistem operasi, pemrograman bersamaan, struktur data, algoritma, teori, sistem paralel dan terdistribusi, antarmuka pengguna, sistem pakar dan makna intelijen, teknik statistik, dan pemrograman dinamis(Elmasri, 2010).

Bahasa SQL dan sistem basis data relasional adalah salah satu teknologi dasar yang paling penting dalam industri komputer saat ini. Selama dekade terakhir, popularitas SQL telah meningkat drastis, dan hari ini sebagai bahasa basis data komputer standar. Ratusan produk database sekarang mendukung SQL, berjalan pada sistem komputer dari mainframe ke komputer pribadi dan bahkan perangkat genggam. Standar SQL internasional resmi telah diadopsi dan diperluas dua kali.

Hampir setiap produk perangkat lunak perusahaan besar bergantung pada SQL untuk pengelolaan datanya, dan SQL adalah inti dari produk basis data dari Microsoft dan Oracle, dua perusahaan perangkat lunak terbesar di dunia. Sebagai proyek penelitian IBM, SQL telah menjadi terkenal sebagai teknologi komputer yang penting dan kekuatan pasar yang kuat(Groff & Weinberg, 1999).

SQL adalah alat untuk mengatur, mengelola, dan mengambil data yang disimpan oleh database komputer. Nama "SQL" adalah singkatan untuk Structured Query Language. Untuk alasan historis, SQL biasanya diucapkan "sekuel," tetapi pengucapan alternatif "S.Q.L." juga digunakan. Seperti namanya, SQL adalah bahasa komputer yang Anda gunakan untuk berinteraksi dengan database.

Faktanya, SQL bekerja dengan satu tipe database tertentu, yang disebut database relasional. Gambar 2.23 menunjukkan cara kerja SQL. Sistem komputer dalam gambar memiliki database yang menyimpan informasi penting. Jika sistem komputer dalam bisnis, database mungkin menyimpan inventaris, produksi, penjualan, atau data penggajian. Pada komputer pribadi, basis data dapat menyimpan data tentang cek yang telah Anda tulis, daftar orang dan nomor telepon mereka, atau data yang diambil dari sistem komputer yang lebih besar. Program komputer yang mengendalikan basis data disebut sistem manajemen basis data, atau DBMS (Groff & Weinberg, 1999).



Gambar 2. 23 Penggunaan SQL dalam database management (Groff & Weinberg, 1999)

Ketika kita perlu mengambil data dari database, kita menggunakan bahasa SQL untuk membuat permintaan. DBMS memproses permintaan SQL, mengambil data yang diminta, dan mengembalikannya kepada kita. Proses meminta data dari basis data dan menerima kembali hasilnya disebut kueri basis data. Nama Structured Query Language sebenarnya agak keliru. Pertama-tama, SQL jauh lebih dari sekadar alat query, meskipun itu tujuan awalnya dan mengambil data masih



merupakan salah satu fungsi terpentingnya. SQL digunakan untuk mengontrol semua fungsi yang disediakan DBMS untuk penggunaannya, termasuk (Groff & Weinberg, 1999):

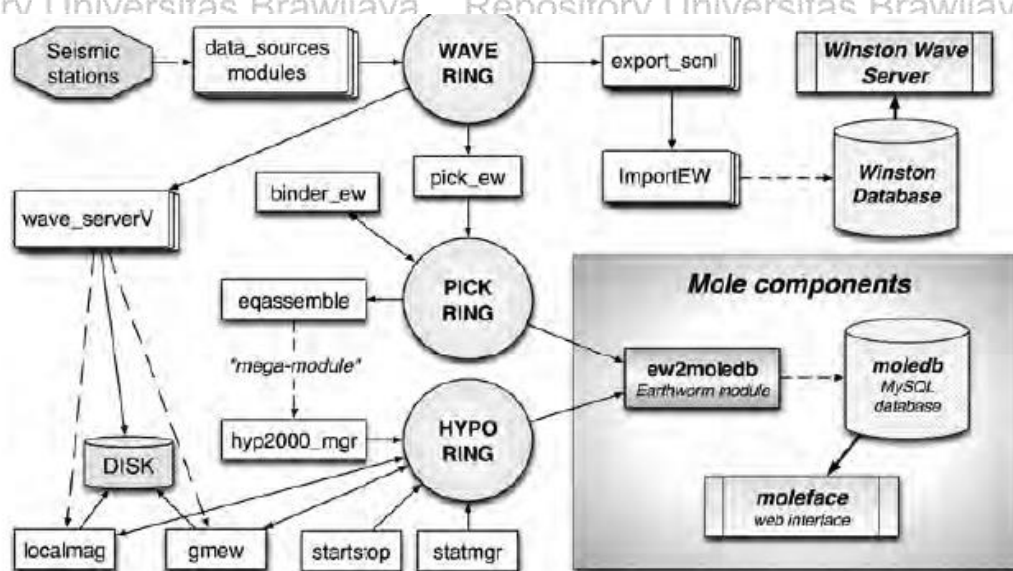
- **Data definition.** SQL memungkinkan pengguna menentukan struktur dan organisasi dari data yang disimpan dan hubungan antara item data yang disimpan.
- **Data retrieval.** SQL memungkinkan pengguna atau program aplikasi untuk mengambil data yang tersimpan dari database dan menggunakannya.
- **Data manipulation.** SQL memungkinkan pengguna atau program aplikasi untuk memperbarui database dengan menambahkan data baru, menghapus data lama, dan memodifikasi data yang disimpan sebelumnya.
- **Access control.** SQL dapat digunakan untuk membatasi kemampuan pengguna untuk mengambil, menambah, dan memodifikasi data, melindungi data yang disimpan terhadap akses yang tidak sah.
- **Data sharing.** SQL digunakan untuk mengoordinasikan berbagi data oleh pengguna secara bersamaan, memastikan bahwa mereka tidak saling mengganggu.
- **Data integrity.** SQL mendefinisikan kendala integritas dalam database, melindunginya dari korupsi karena pembaruan yang tidak konsisten atau kegagalan sistem.

2.11. Automatisasi Pemrosesan Data Berbasis *Earthworm System Software*

Earthworm system software adalah sistem pemrosesan otomatis untuk mencari gempa bumi. Tujuan awal proyek, dimulai pada tahun 1993, adalah untuk memberikan pemberitahuan cepat tentang peristiwa seismik. Lebih utamanya

adalah untuk sistem yang mampu mengelola ratusan saluran data seismik dalam *near-real-time* secara cepat kecepatan tetapi tidak harus memiliki memori yang terus-menerus dari event sebelumnya. Selanjutnya, subsistem otomatis interaktif *Earthworm* disediakan sebagai tambahan, dan terdiri dari beberapa modul untuk memuat informasi dalam database Oracle dan kemudian mengambilnya untuk pemberitahuan pasca pemrosesan dan alarm (Quintiliani & Pintore, 2013).

Karakteristik utama yang diperlukan untuk subsistem otomatisasi *processing* data adalah kemampuan membaca pesan yang mengalir di memori buffer *Earthworm* dan menyimpan informasi yang terkandung dalam database secara real-time. Sehingga harus terdapat lapisan komunikasi yang dibutuhkan antara *Earthworm* dan database MySQL. Diagram *Earthworm* yang sangat umum dan minimal pada Gambar 2.24 menunjukkan komponen MoleDB dan memberikan pandangan tentang bagaimana tiap modul dari sistem dapat berinteraksi satu sama lain (Quintiliani & Pintore, 2013).



Gambar 2. 24 Blok diagram *Earthworm* secara umum dan dikombinasikan dengan MoleDB (Quintiliani & Pintore, 2013)



BAB III KERANGKA KONSEP PEMIKIRAN

Tujuan utama monitoring gunungapi yaitu mempelajari karakteristik gunungapi dan pemantauan aktifitas gunungapi. Salah satu metode monitoring volcano yang powerful adalah gabungan antara metode seismik, metode deformasi, metode visual dan metode geokimia. Dinilai powerful karena aktivitas internal magma bisa dideteksi dari sinyal seismiknya. Pemantauan dengan metode seismik yaitu dengan menggunakan peralatan seismometer untuk merekam gerakan tanah yang bersumber dari gempa bumi, letusan gunungapi, dan sumber lainnya.

Stasiun seismik yang di desain terdiri dari 2 bagian yaitu bagian transmitter dan bagian receiver. Bagian transmitter terdiri dari catu daya berupa aki dan solar panel, sensor seismik dengan tiga jenis yaitu MEMS Accelerometer MMA7361L, Geophone SM-24, dan Seismometer L-4C. Kemudian, terdapat modul amplifier dan filter, digitizer, *switch* hub sebagai pengatur lalu lintas komunikasi data, modul *converter* UART RS-232 to Ethernet *converter*, serta radio WiFi 5Ghz. Bagian transmitter ini akan di letakan di stasiun seismograph leker kabupaten Lumajang, dimana merupakan daerah yang juga dipasang stasiun seismik PVMBG. Sistem yang di desain akan di letakkan berdampingan dengan milik PVMBG yang bertujuan sebagai perbandingan data.

Bagian *receiver* bertempat di Pos Pengamatan Gunungapi Sawur. *Receiver* terdiri dari radio WiFi *receiver*, *switch* hub, modem ADSL, dan komputer *server* dan *database*. Data yang diterima dari stasiun seismik akan diolah oleh software *Earthworm*, kemudian data akan disimpan kedalam *database server*. *Database Management System* (DBMS) yang digunakana adalah MySQL. Database ini akan



terintegrasi dengan Winbox Server sebagai pengatur keluar masuknya data dari *Earthworm* menuju MySQL.

Jaringan ADSL digunakan sebagai media transmisi data dari server menuju klien. Ketika modem ADSL terhubung ke ISP (Internet Service Provider) maka modem akan mendapatkan alamat IP Publik. IP Publik ini akan dimanfaatkan sebagai alamat global dari server data seismik. Karena jaringan modem dengan komputer server bersifat lokal, maka IP publik yang terdapat pada modem ADSL tidak dapat langsung menuju ke komputer *server*. Sehingga modem perlu di konfigurasi agar dapat menerjemahkan IP publik kedalam jaringan privat yang terdapat alamat dan port dari *server*. Satu fitur yang sangat bermanfaat dari modem ADSL untuk menyelesaikan persoalan tersebut adalah fasilitas *Network Address Translation* (NAT). Peran dasar NAT adalah menerjemahkan jaringan IP Publik ke jaringan pribadi dan sebaliknya. Semua host yang berada di belakang NAT dapat langsung diakses melalui internet yang menghubungkan IP Publik dan port Modem.

Ketika klien memasukkan alamat dan port dari IP publik modem ADSL yang berada di server, maka modem akan langsung menerjemahkan alamat dan port tersebut menuju jaringan privat di dalam *server*. Sebagai contoh, IP publik dari modem ADSL adalah 36.74.120.10, konfigurasi NAT modem adalah IP lokal 192.168.1.10 start port 9090 end port 9090. Maka jika kita memasukkan alamat 36.74.120.10:9090, maka secara otomatis modem akan mem-*forward* ke alamat lokal 192.168.1.10 port 9090. Sehingga komunikasi data jarak jauh dapat dilakukan.

IP publik yang terdapat pada modem ADSL sifatnya tidak statis // tetap. Apabila terjadi putus koneksi modem terhadap ISP, maka modem akan melakukan



koneksi ulang, dan mendapatkan IP publik baru. Hal ini akan menjadi kendala apabila klien ingin mendownload data dari server data seismik, karena IP publik yang lama sudah tidak berfungsi lagi. Untuk mengatasi permasalahan ini, maka digunakan bantuan dari pihak ketiga, yaitu menggunakan *Dynamic Domain Name Server* (DDNS). DDNS akan mentransformasikan IP publik ke dalam alamat yang mudah di ingat seperti “seismik.ddns.net” atau yang lainnya. Umumnya modem ADSL sudah terdapat fitur DDNS, sehingga tinggal melakukan login dan memasukkan alamat host yang sudah didaftarkan. Fitur DDNS akan secara otomatis mengubah IP modem ke alamat host yang sudah dibuat sesuai. Oleh karenanya klien tidak perlu lagi mengingat IP publik dari modem ADSL, dan hanya cukup mengingat alamat host dari DDNS yang sudah di daftarkan.

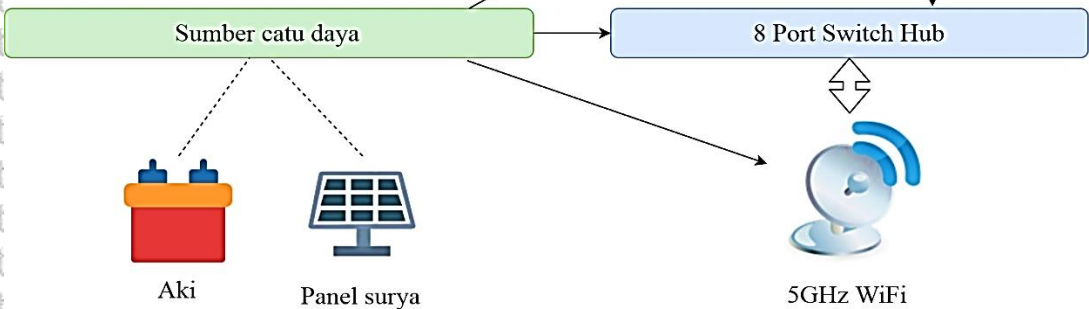
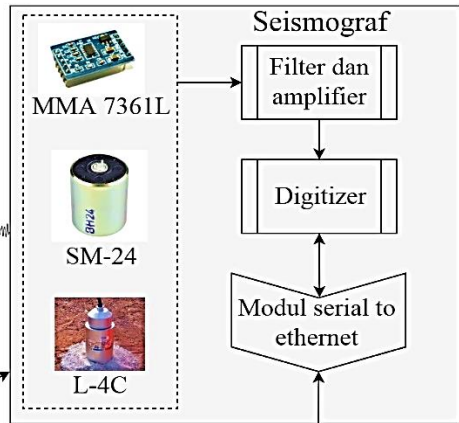
Data seismik dapat diakses menggunakan aplikasi *Seismik Wave Analyze and Realtime Monitoring* (SWARM) dengan menggunakan *Winston data source* dengan memasukknan alamat dari Winston yang telah dibuat di bagian server menggunakan DDNS sebelumnya. Data yang disediakan oleh SWARM yaitu seismogram digital, *realtime waveform*, *realtime analisis (amplitude, spectral frekuensi, spectrogram frekuensi, dan partikel motion)*, data *Realtime Seismik Amplitude Measurement* (RSAM). Selain itu data *seismogram* juga dapat diakses melalui *website* yang sudah di integrasikan dengan Winston server. Data lain berupa file berformat SAC dan data mentah RSAM dapat diunduh melalui website dengan protocol FTP (File Transfer Protocol). Data yang disediakan adalah data terbaru hingga 7 hari sebelumnya.

Bagian transmitter

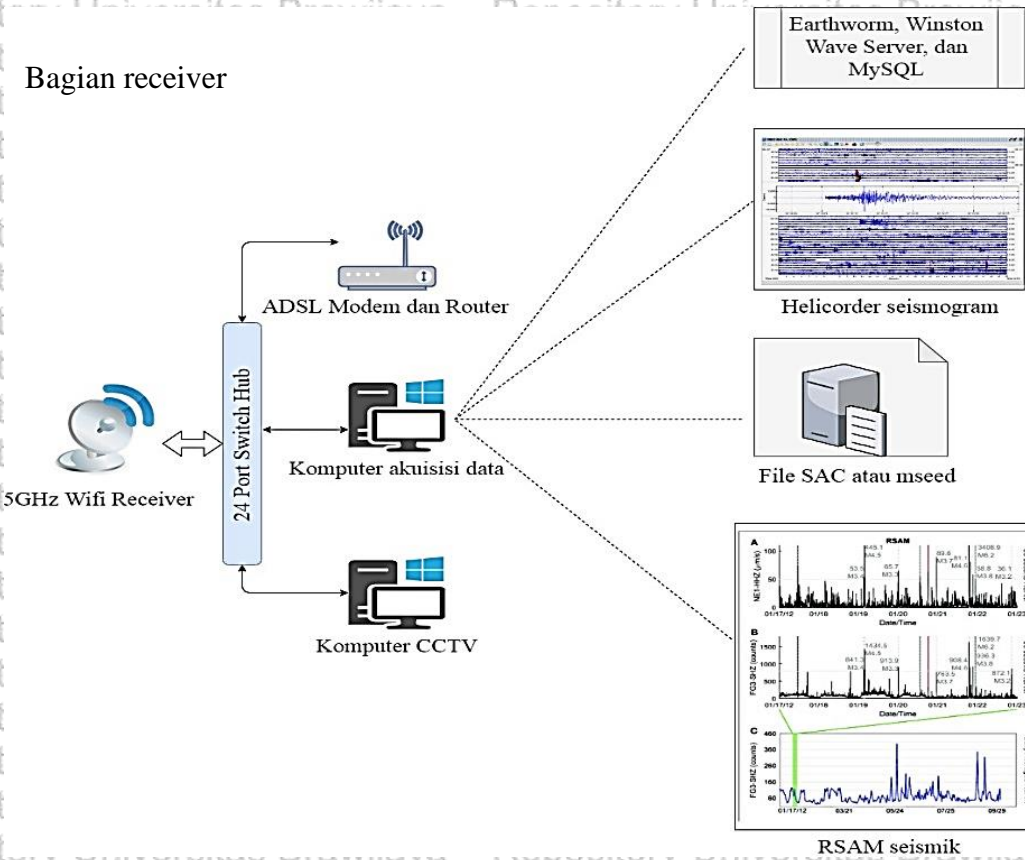


Gunungapi yang di amati

Sinyal seismik



Bagian receiver



Gambar 3.1 Kerangka konsep berfikir

BAB IV METODE PENELITIAN

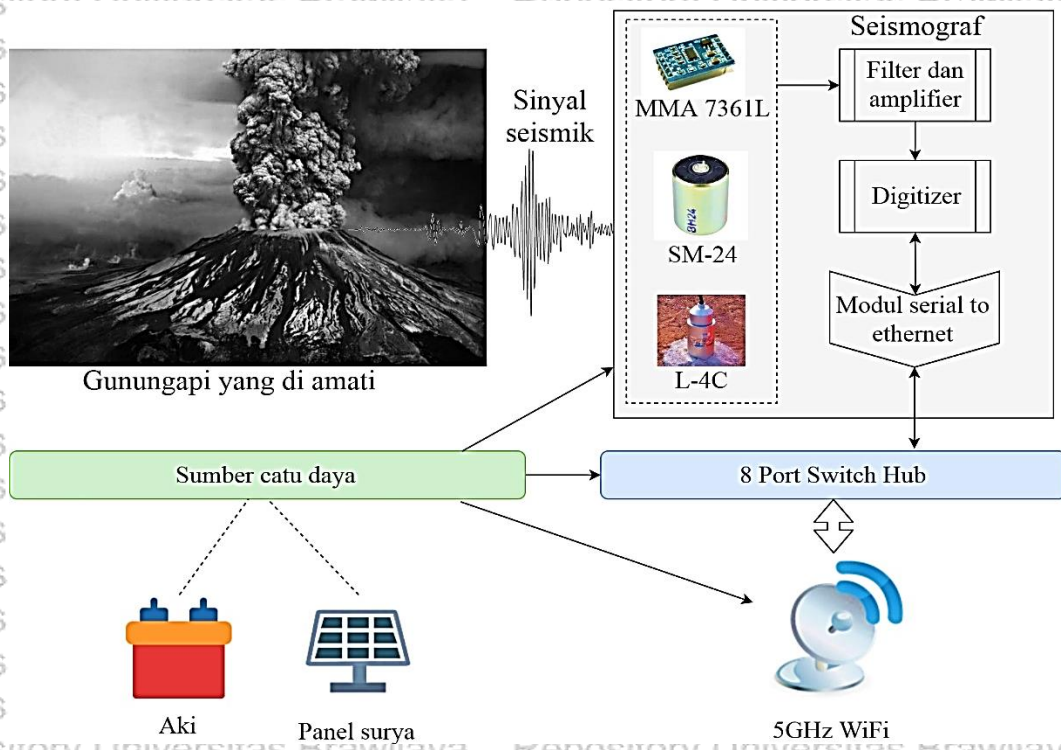
4.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Measurement Circuit and System (MCS LAB) Jurusan Fisika Universitas Brawijaya Malang selama 3 bulan yaitu dari bulan Agustus 2019 hingga bulan Oktober 2019 dan pengujian lapangan bertempat di Pos Pengamatan Gunungapi Sawur, desa Candipuro kabupaten Lumajang.

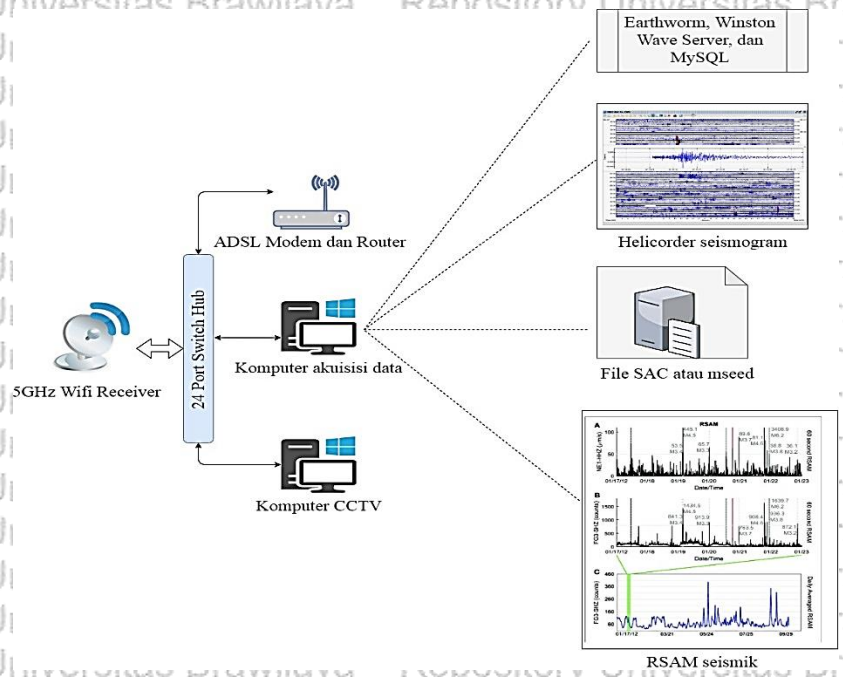
4.2. Desain Stasiun Seismik Secara Keseluruhan

Stasiun seismik yang di desain, terdiri dari 2 bagian yaitu bagian transmitter dan bagian receiver. Bagian transmitter terdiri dari dua daya berupa aki dan solar panel, sensor seismik dengan tiga jenis yaitu MEMS Accelerometer MMA7361L, Geophone SM-24, dan Seismometer L-4C. Kemudian, terdapat modul amplifier dan filter, digitizer, switch hub sebagai pengatur lalu lintas komunikasi data ethernet, modul converter UART RS-232 to Ethernet converter, serta radio WiFi 5Ghz. Bagian transmitter ini akan di letakan di daerah leker, dimana merupakan daerah yang juga dipasang stasiun seismik PVMBG. Sistem yang di desain akan di letakkan berdampingan dengan milik PVMBG yang bertujuan sebagai perbandingan data.

Bagian receiver bertempat di Pos Pengamatan Gunungapi sawur. Receiver terdiri dari radio WiFi receiver, switch hub, modem ADSL, dan komputer server dan database. Data yang diterima dari stasiun seismik akan diolah oleh software *Earthworm*, kemudian data akan disimpan kedalam database server. *Database Management System* (DBMS) yang digunakana adalah MySQL. Database ini akan terintegrasi dengan *Winston Wave Server* sebagai penyedia data seismik secara realtime dan juga webservice. Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 berikut ini merupakan blok diagram dari system transmitter dan receiver.



Gambar 4.1 Blok diagram sistem transmitter dari stasiun seismik



Gambar 4.2 Blok diagram bagian receiver dari stasiun seismik



4.3. Desain Sistem Akuisisi Data Seismik

4.3.1. Desain Pengkondisi Sinyal

Sensor seismik yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari sensor MEMS *accelerometer* MMA7361L, sensor *geophone* SM24, dan *geophone* Mark L4-C. Sensor MEMS *accelerometer* digunakan untuk mendeteksi sinyal seismik frekuensi ultra rendah, karena memiliki respons frekuensi dari 0-800Hz. Sensor *geophone* SM24 digunakan untuk mendeteksi sinyal seismik periode pendek dengan frekuensi di atas 5 Hz, dan sensor *geophone* L4 digunakan untuk mendeteksi sinyal seismik dengan frekuensi antara 1 Hz hingga 20 Hz. Prinsip kerja sensor *geophone* yaitu memakai prinsip dasar Lenz Law, pergerakan susunan magnetik relatif terhadap koil atau sebaliknya menyebabkan perubahan fluks magnet yang terkait dengan koil, sehingga GGL (dengan amplitudo tergantung pada kecepatan magnet) diinduksi dalam koil.

Setiap sensor memiliki kelebihan dan kekurangan, sensor *geophone* SM24 dan sensor *geophone* L4 memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi. Akan tetapi harga untuk satu buah *geophone* tergolong relatif mahal. sedangkan MEMS *Accelerometer* tipe MMA7361L memiliki sensitivitas lebih rendah. Kekurangan MMA7361L berdasarkan penelitian Santoso, dkk dilaporkan bahwa MMA7361L memiliki *noise* yang tinggi. *Noise* tersebut disebabkan oleh *noise* elektrik dan *noise* mekanik. MEMS *Accelerometer* tergolong sensor yang *compact* serta harganya sangat murah. Walaupun sensor MMA7361L memiliki sensitivitas rendah tetapi memiliki 3 output dengan sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z, sehingga dapat digunakan sebagai sensor seismik 3 komponen. Tabel 4.1 menunjukkan spesifikasi masing-masing sensor.

Tabel 4. 1 Spesifikasi dari sensor seismik yang digunakan

| Sensor | Specification | Value | Unit |
|--------|-------------------|-----------|--------------------|
| | Voltage operation | 2.2-3.6 | V |
| | Sensitivity | 0.8 | V/m/s ² |
| | Bandwidth | DC to 800 | Hz |



MMA 7361L

| | | |
|-------------------------|------|----|
| Current consumption | 400 | uA |
| Internal lowpass filter | 1000 | Hz |



SM24 Geophone

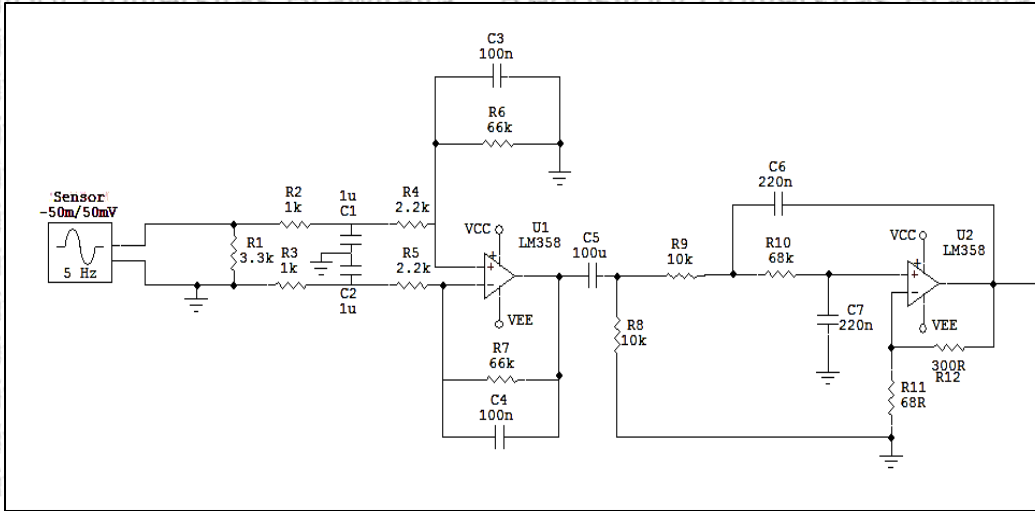
| | | |
|----------------------------|------|-------|
| Natural frequency | 10 | Hz |
| Typical spurious frequency | 240 | Hz |
| Sensitivity | 28.8 | V/m/s |
| Damping resistance | 1339 | Ohm |



L4C Geophone

| | | |
|--------------------------|------|-------|
| Natural frequency | 1 | Hz |
| Peak to Peak Coil Travel | 6.25 | mm |
| Sensitivity | 127 | V/m/s |
| Damping resistance | 4434 | Ohm |

Sensor *geophone* memiliki sensitivitas tinggi, tetapi sensor tersebut jarang mendeteksi sinyal seismik dengan amplitudo besar, hanya beberapa mili-volt hingga puluhan mili-volt. Jadi, perlu untuk memperkuat output sinyal agar dapat dibaca dengan jelas. Penempatan sensor di alam selain mendeteksi sinyal seismik, sensor juga akan mendeteksi sinyal lain, sinyal ini disebut sebagai *background noise* seperti pohon yang diterpa angin, langkah-langkah hewan yang lewat, suara petir, dan lain sebagainya. *Background noise* tersebut cenderung memiliki frekuensi yang lebih tinggi. Untuk meminimalkan *noise* frekuensi tinggi ini, *filter* sinyal diperlukan. Untuk pemantauan seismik vulkanik, sinyal yang biasanya terdeteksi adalah tremor, gempa vulkanik, gempa letusan/hembusan, gempa tektonik dekat dan jauh. Filter dirancang untuk memiliki rentang kerja dari 0,5 Hz hingga 25 Hz. Filter yang biasa digunakan adalah kombinasi high pass dan lowpass filter yang membentuk bandpass filter, kemudian dikombinasikan dengan rangkaian penguat diferensial untuk menghasilkan gain tinggi di atas 40dB. Gambar 4.2 menunjukkan desain filter dan rangkaian penguat untuk sensor seismik.



Gambar 4. 3 Skematik dari rangkaian pengkondisi sinyal sensor seismik

Desain sirkuit elektronik yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 terdiri dari filter *low-pass* 3-*cascade*. Di mana kaskade pertama dibangun oleh R2 dan C1, R3 dan C2, membentuk filter *low-pass* pertama dengan cutoff frekuensi yang sesuai dengan persamaan 4.1.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4.1),$$

Dengan menempatkan resistor R2 dan R3 dengan nilai 1 kΩ dan kapasitor C1 dan C2 dengan nilai 6.8 uF, sehingga frekuensi cut-off sekitar 24 Hz. Kaskade kedua dari filter *low-pass* dibangun oleh R7 dan C4 dalam tahap penguat diferensial. Dengan nilai resistor R7 66 kΩ dan kapasitor C4 100nF, frekuensi cut-off sekitar 24 Hz. Pada tahap penguat diferensial, amplifikasi tergantung pada R1, R2, R3, dan R4. Perlu dicatat bahwa R5 dan R6 juga mempengaruhi amplifikasi, karena R5 adalah seri dengan R1 dan R6 adalah seri dengan R2. C4 paralel dengan R7 dan C3 sejajar dengan R6, sehingga juga menciptakan respons filter *low-pass*. Frekuensi *cut-off* dapat dihitung menggunakan persamaan 4.1. Amplifikasi amplifier diferensial sekarang tergantung pada frekuensi sinyal dari sensor dan frekuensi *cut-off* filter. Gain dari penguat diferensial dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.



$$Z_1 = R_1 + R_4 = R_3 + R_5 \quad (4.2),$$

$$Z_2 = R_6 \parallel \frac{1}{j\omega C_3} = R_7 \parallel \frac{1}{j\omega C_4} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_6}\right)^2 + (j\omega C_3)^2}} \quad (4.3),$$

$$A_{v1} = \frac{\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_6}\right)^2 + (j\omega C_3)^2}}}{R_1 + R_4} = \frac{Z_2}{Z_1} \text{ or } A_{v1} = \frac{\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_7}\right)^2 + (j\omega C_4)^2}}}{R_3 + R_5} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (4.4),$$

Menggunakan nilai $R_1 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ dan $R_3 = R_4 = 2.2 \text{ k}\Omega$ maka nilai $Z_1 = R_5 + R_1 = 3.3 \text{ k}\Omega$. Kemudian $R_6 = R_7 = 66 \text{ k}\Omega$ dengan kapasitor $C_{100} \text{ nF}$, jadi kita mendapatkan amplifikasi

tegangan $A_{v1} = Z_2 / Z_1 = 66 \text{ k}\Omega / 3.3 \text{ k}\Omega = 20$ kali atau 26 dB , sementara frekuensi cut-off filter low pass ada di sekitar 24 Hz . Kaskade ketiga dari filter low pass dibuat dengan sellen key low pass filter urutan kedua dengan gain non-pemalik, dan input ditambah dengan filter high pass

first order. Filter high pass di sini digunakan untuk menghapus offset DC yang disebabkan oleh tahap rangkaian sebelumnya. Kunci Sallen Filter low-pass second order digunakan untuk mendapatkan redaman ketajaman untuk suara frekuensi tinggi. Keuntungan dalam kaskade ini

disediakan oleh penguat non-pemalik yang digunakan untuk memberikan gain yang lebih tinggi karena kami memiliki amplifikasi dalam kaskade sebelumnya. Amplifikasi kaskade ini juga memiliki keuntungan yang akan membuat OP-AMP IC lebih stabil daripada menggunakan

konfigurasi amplifikasi tunggal untuk memberikan penguatan tinggi. Untuk menentukan frekuensi cut-off dan gain dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_9 R_{10} C_6 C_7}} \quad (4.5),$$

$$A_{v2} = \left(\frac{R_{12}}{R_{11}}\right) + 1 \quad (4.6),$$

Karena memiliki 2 konfigurasi cascade amplifikasi, tegangan output dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.

$$V_{out} = A_{v1} * A_{v2} * V_{in} \quad (4.7),$$



$$V_{out} = \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right) * \left(\left(\frac{R_{12}}{R_{11}} \right) + 1 \right) * (V_+ - V_-) \quad (4.8),$$

$$V_{out} = \left(\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_6} \right)^2 + (j\omega C_3)^2}} \right) * \left(\left(\frac{R_9}{R_8} \right) + 1 \right) * (V_+ - V_-) \text{ or } V_{out} = \left(\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_7} \right)^2 + (j\omega C_4)^2}} \right) * \left(\left(\frac{R_{12}}{R_{11}} \right) + 1 \right) * (V_+ - V_-) \quad (4.9),$$

4.3.2. Desain Digitizer Untuk Pemroses Sinyal

Output dari rangkaian filter dan penguat yang dirancang sebelumnya masih dalam bentuk tegangan analog, untuk ditransmisikan ke pos pemantauan perlu diubah dalam bentuk digital.

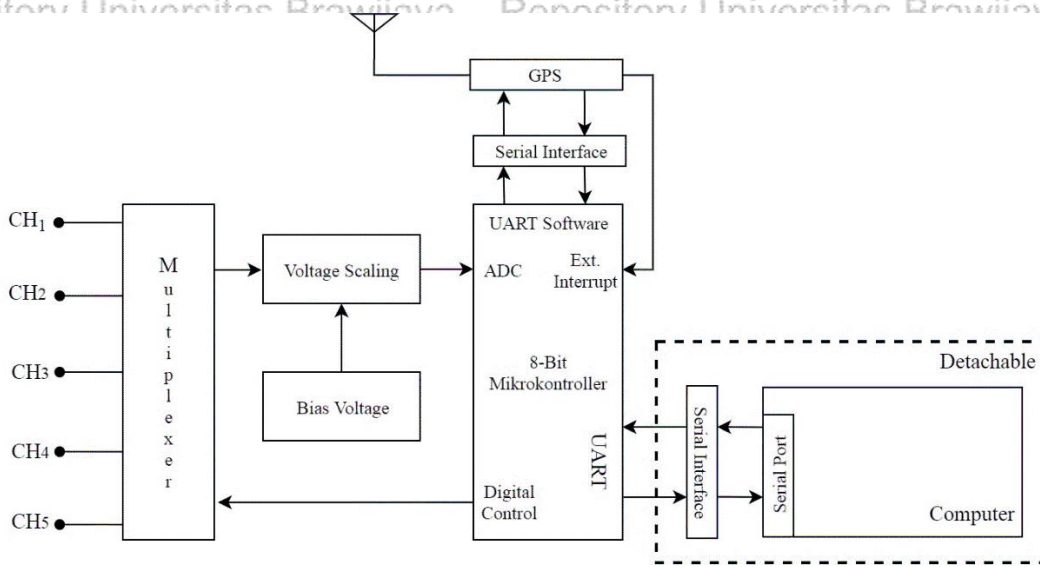
Subsistem digitizer didasarkan pada IC Analog to Digital Converter (ADC) ADS1115 yang memberikan resolusi tinggi 16bit. Dengan resolusi 16-bit ini, dapat memberikan signal to noise ratio (SNR) tinggi sekitar 90dB, asumsikan bahwa noise internal ADC 1 bit. SNR tersebut cukup

untuk sinyal seismik yang membutuhkan *dynamic range* tinggi untuk data digital. ADS1115 melakukan laju sampling hingga 860 sampel per detik (sps), tetapi dalam desain ini karena digitizer memiliki jumlah kanal inpu sebanyak 5 kanal, maka hanya 100 sps maksimum yang dapat dicapai.

Untuk mendapatkan *time-stamp* dengan akurasi tinggi, GPS digunakan di sini. GPS Ublox-Neo 6m sudah cukup untuk mendapatkan ketepatan waktu yang baik. Semua tipe atau model GPS memiliki akurasi tinggi karena mereka terhubung langsung ke sumber waktu STRATUM 0 (GPS

Satelite) untuk memperbaiki *drift* osilator modul GPS. Digitizer yang dirancang memiliki 5 input bipolar analog dengan kisaran input sekitar +/- 5 Volt, kisaran tegangan ini biasanya digunakan dalam instrumen seismologis. Blok diagram desain Digitizer ditunjukkan pada gambar 4.5 berikut

ini.



Gambar 4. 4 Blok diagram digitizer untuk stasiun seismik

4.3.3. Sistem Otomatis *Earthworm System Software* Untuk Pemrosesan Data *Real-Time* Serta Sistem Berbasis IoT Menggunakan Jaringan ADSL dan *MySQL Database Management System (DBMS)*

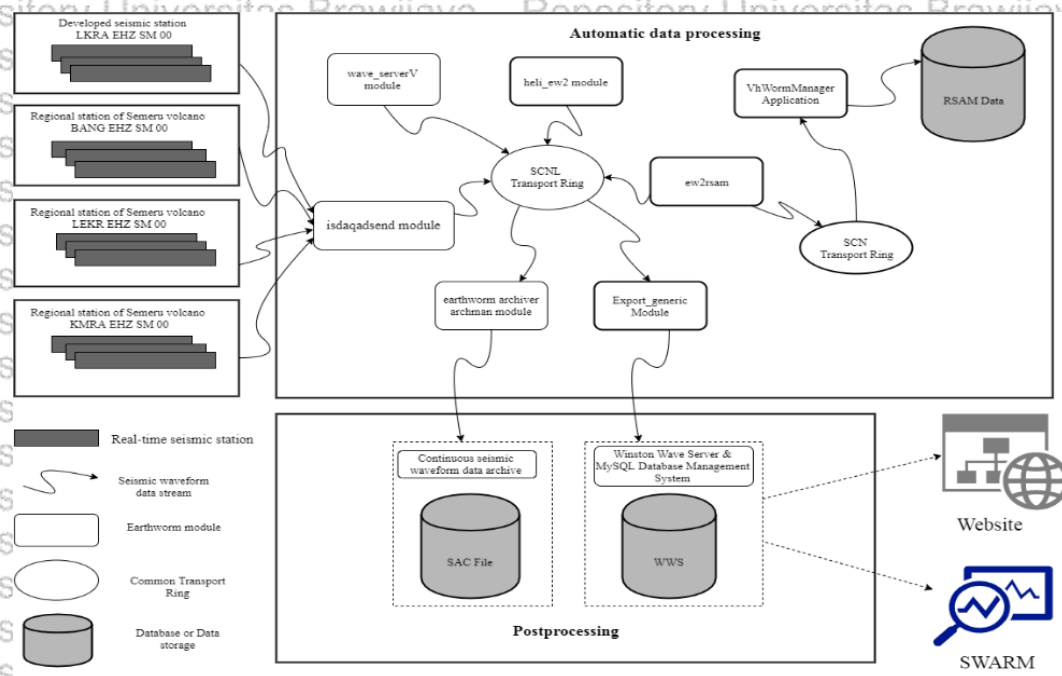
Sistem perangkat lunak *Earthworm* dibuat di Virginia sejak tahun 1993 dan sekarang merupakan proyek terpisah dari *Instrument Software Technology Inc (ISTI)*. *Earthworm* bekerja berdasarkan konsep *transport ring*, yang menggunakan memori bersama dengan ukuran tertentu. *Transport ring* menyimpan data *query* dari modul sistem di mana konten pesan dapat dalam bentuk gelombang seismik, waktu kedatangan seismik, hasil penentuan parameter sumber gempa dan besarnya amplitudo gempa. Pesan sebagai data input dapat dibaca oleh modul lain yang terhubung ke memori pada *transport ring*. Pada penelitian telah dikembangkan aplikasi yang disebut "isdaqdsend" yang berjalan pada OS *Windows* untuk bertukar data dengan sistem *Earthworm*.

Aplikasi ini mendemultipleks data dari digitizer dan menyusun kembali paket data yang dibutuhkan dengan *Earthworm* yang disebut sebagai *TYPE_TRACEBUF2 data format*. Data yang dikemas akan dikirim ke salah satu *transport ring*, kemudian data akan diproses oleh modul lain untuk mendapatkan informasi tentang sinyal seismik. Tabel 4.2 menunjukkan modul yang digunakan dalam sistem *earthworm* untuk sistem otomatis untuk pemrosesan data waktu-nyata.

Tabel 4. 2 Modul *earthworm* yang digunakan

| Module Name | Output Message | Information Content |
|----------------|-------------------|----------------------------|
| isdaqadsend | TYPE_TRACEBUF2 | Waveform data |
| wave_serverV | TYPE_TRACEBUF2 | Waveform data |
| archman | SAC_FILE_FORMAT | Waveform with SAC format |
| export_generic | TYPE_ACK | Waveform for exchange data |
| ew2rsam | TYPE_TRACEBUF2 | Statistics of event |
| ew2ssam | TYPE_VTABULARDATA | Statistics of event |
| heli_ewII | TYPE_TRACEBUF2 | Digital seismogram |

Agar berfungsi dengan baik sebagai pemrosesan data otomatis, setiap modul harus dikonfigurasi. Setiap modul memiliki file konfigurasi yang digunakan untuk mengatur nama *transport ring* yang digunakan bersama, nama Stasiun, Komponen, Jaringan, dan Lokasi (SCNL) dari stasiun seismik, dan sebagainya. Untuk menentukan episenter gempa, diperlukan setidaknya 4 jaringan stasiun seismik lokal yang tidak terlalu jauh satu sama lain. Ini karena setidaknya empat pengukuran diperlukan untuk secara bersamaan menentukan tiga koordinat spasial dan waktu asal gempa. Waktu kedatangan gempa P primer yang dicatat oleh empat stasiun sangat diperlukan dalam sistem pengukuran seismik otomatis. Sedangkan waktu kedatangan gempa sekunder sangat jarang digunakan dalam pengukuran otomatis sinyal seismik, karena sangat sulit untuk membedakan waktu tiba gempa bumi. Jadi stasiun seismik di sekitar gunung api Semeru digunakan sebagai stasiun referensi dalam sistem ini. Gambar 5 adalah diagram blok perangkat lunak sistem Earthworm yang dirancang sebagai pemrosesan otomatis data.



Gambar 4.5 Sistem otomatis *Earthworm* untuk pemrosesan data secara realtime

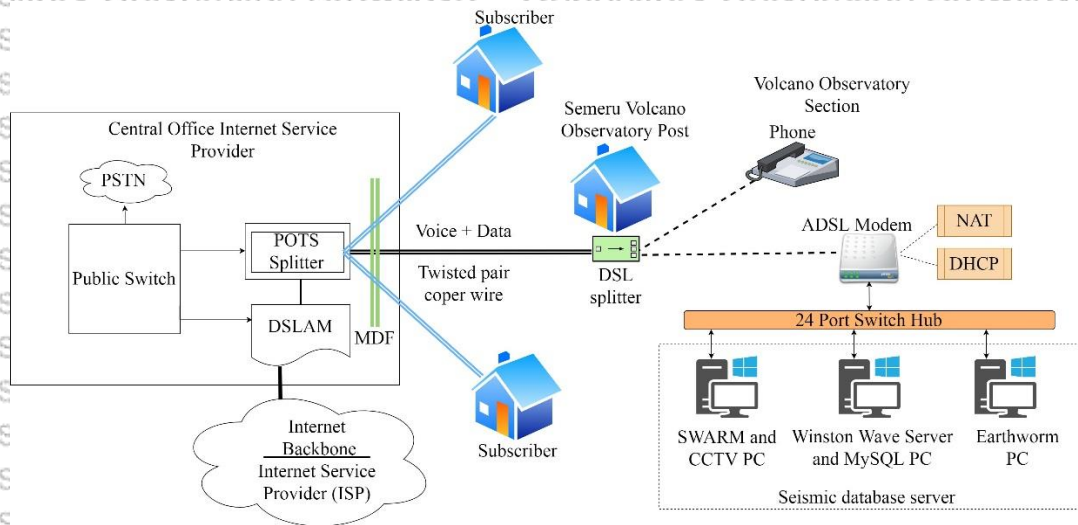
Implementasi *IoT* dengan mengintegrasikan teknologi komunikasi ADSL dan *server database* menggunakan MySQL, tidak memerlukan banyak perangkat. Setidaknya hanya dua perangkat penting yang diperlukan, mereka adalah modem ADSL dan Komputer sebagai server.

Modem ADSL dikonfigurasi untuk meneruskan klien yang menghubungi alamat IP publik dan port pada modem ke pusat data pada komputer server. Salah satu fitur penting yang dimiliki oleh modem ADSL untuk dapat melakukan hal itu adalah fitur *Network Address Translation* (NAT).

Peran dasar NAT adalah menerjemahkan jaringan IP Publik ke jaringan pribadi dan sebaliknya.

Semua host yang berada di belakang NAT dapat langsung diakses melalui internet yang terhubung ke IP Publik dan port Modem. Gambar 4.6 menunjukkan topologi jaringan untuk komunikasi jarak jauh internet. Dalam hal ini, alamat IP pribadi dipetakan dengan alamat IP publik, yaitu, alamat IP pribadi diterjemahkan ke alamat IP publik. Private IP adalah alamat untuk *winston wave server* dan data situs web. Data diakses melalui SWARM dengan memasukkan

alamat Winston yaitu "semerumcs.servequake.com" dan port 15020. Alamat tersebut adalah representasi IP publik dari modem ADSL yang kemudian diterjemahkan ke dalam IP pribadi di bagian *server* lokal. Alamat server diperoleh dengan menggunakan bantuan pihak ketiga, yaitu menggunakan *Dynamic Domain Name Server (DDNS)* dari "noip.com". *Server* NoIP akan memantau setiap perubahan IP Publik pada modem ADSL



Gambar 4. 6 Sistem IoT berbasis jaringan internet ADSL

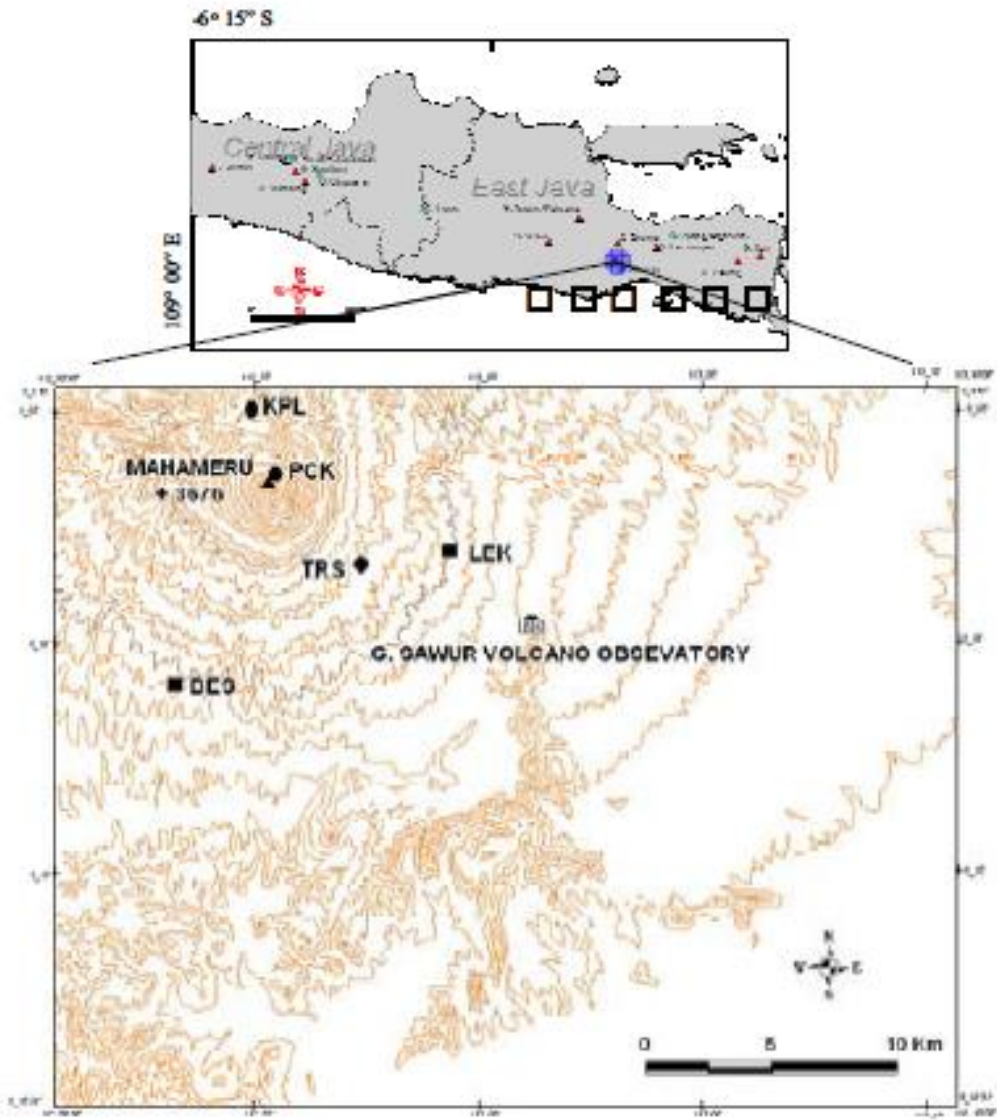
4.4. Prosedur Pengujian Lapangan

Sistem seismograf yang telah dibuat kemudian dipasang di salah stasiun seismograf semeru milik PVMBG. Penempatan sistem yang sama dengan lokasi stasiun seismik PVMBG bertujuan untuk sebagai perbandingan. Karena sistem ini masih dalam tahap pengembangan. Diharapkan sistem ini mampu bekerja dan menghasilkan data paling tidak sama dengan sistem milik PVMBG. Terdapat empat stasiun seismograf semeru yang aktif saat ini. Tabel 4.3 merupakan daftar stasiun seismograf Semeru milik PVMBG.

Tabel 4. 3 Daftar stasiun seismik Gununggapi Semeru

| No | Stasiun | Posisi Geografis | | |
|----|------------|------------------|------------------|----------------|
| | | Lintang Selatan | Bujur Timur | Ketinggian (m) |
| 1 | Leker | 8° 08' 14.8" S | 112° 59' 09.4" T | 1060 |
| 2 | Kepolo | 8° 05' 02.7" S | 112° 55' 13.0" T | 2764 |
| 3 | Besuk Bang | 8° 10' 50.0" S | 112° 57' 09.2" T | 917 |
| 4 | Kamar A | - | - | - |


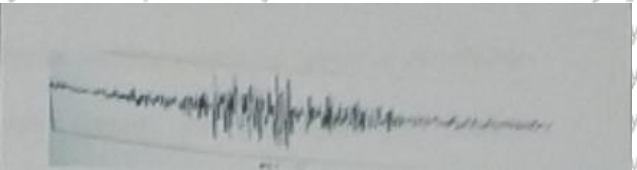
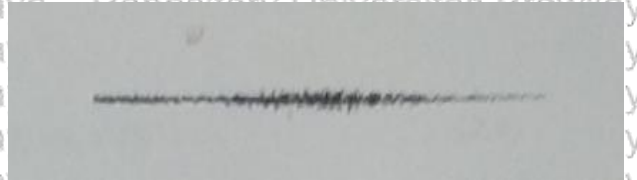


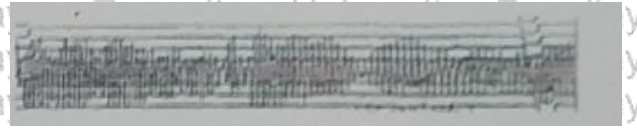
Peta gunung berapi Semeru dan lokasi stasiun seismik (gambar 4.7) di gunung berapi ini dioperasikan oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Segitiga, lingkaran, dan bujur sangkar masing-masing mewakili kawah puncak, stasiun sementara dan permanen.



Gambar 4.7 Peta gunung berapi Semeru dan lokasi stasiun seismik (Maryanto & Mulyana, 2008)

Beberapa tipe gempa vulkanik pada gunungapi Semeru dibedakan berdasarkan pada karakteristik dari gelombang yang terekam oleh seismogram, yang mana mencerminkan aktivitas gunungapi itu sendiri. Seismogram gempa vulkanik gunungapi Semeru memiliki ciri khusus tersendiri. Tabel 4.4 menunjukkan seismogram dari beberapa jenis gempa vulkanik gunungapi semeru.

Tabel 4. 4 seismogram dari beberapa jenis gempa vulkanik gunungapi semeru

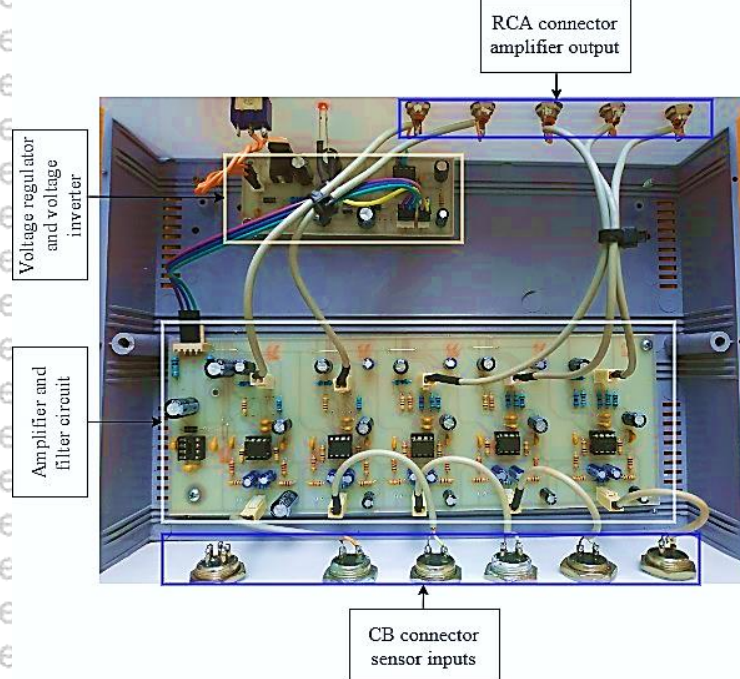
| No | Tipe Gempa dan tremor | Seismogram |
|----|-----------------------|--|
| 1 | Vulkanik Dalam (VA) |  |
| 2 | Vulkanik Dangkal (VB) |  |
| 3 | Guguran |  |
| 4 | Awan Panas |  |
| 5 | Letusan |  |
| 6 | Tremor Harmonik |  |

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Perancangan Hardware

5.1.1 Pengondisi Sinyal Sensor *Geophone*, Sensor L4C, dan MEMS *Accelerometer*

Perangkat keras pengondisi sinyal seperti dijelaskan sebelumnya, terdiri dari serangkaian *filter* frekuensi dan *amplifier*. Pengondisi sinyal ini memiliki 5 saluran input, di mana setiap saluran memiliki bandwidth frekuensi kerja 0,5 Hz - 25 Hz dan dengan gain tetap 40 dB atau 100 kali gain. Bagian input menggunakan konektor CB yang dipasang pada badan kotak, dan konektor output menggunakan konektor RCA. Jenis IC yang digunakan adalah tipe LM358, yang merupakan IC berdaya rendah dengan konsumsi arus 500uA dengan tegangan 12volt. Rangkaian ini juga dilengkapi dengan konverter tegangan, positif ke negatif untuk memenuhi kebutuhan catu daya ganda



Gambar 5.1 Foto rangkaian pengkondisi sinyal



5.1.2 Digitizer Sebagai Pemroses Sinyal Sensor Seismik

Digitizer digunakan sebagai pemroses sinyal, yang mengubah sinyal seismik analog menjadi data digital. Data tersebut kemudian dikirim ke pengamat melalui transmisi Wi-Fi yang akan diproses oleh server pemrosesan data seismik. *Digitizer* terdiri dari IC mikrokontroler sebagai pengontrol utama yang mengatur masukan dan keluaran data. Mikrokontroler yang digunakan adalah tipe ATMEGA328, yang merupakan mikrokontroler berdaya rendah dengan komunikasi utama yang disediakan adalah UART, I2C, dan SPI. Mikrokontroler ini memiliki harga yang sangat rendah dan banyak tersedia di toko elektronik dan robotik. Meskipun ini adalah tipe IC dengan arsitektur 8-bit, kinerja yang diberikan cukup baik sebagai IC utama *digitizer*.

IC ADC yang digunakan dalam modul *digitizer* ini adalah tipe ADS1115.

ADC ini memiliki resolusi IC ADC 16-bit, laju pengambilan sampel maksimum 860sps. Performa yang diberikan oleh IC ini, dengan desain perangkat keras yang telah dibuat mampu memberikan rentang dinamis 84dB (jumlah bit efektif 14-bit).

Amplitudo sinyal yang dapat diambil sampelnya adalah polaritas ganda +/- 5volt.

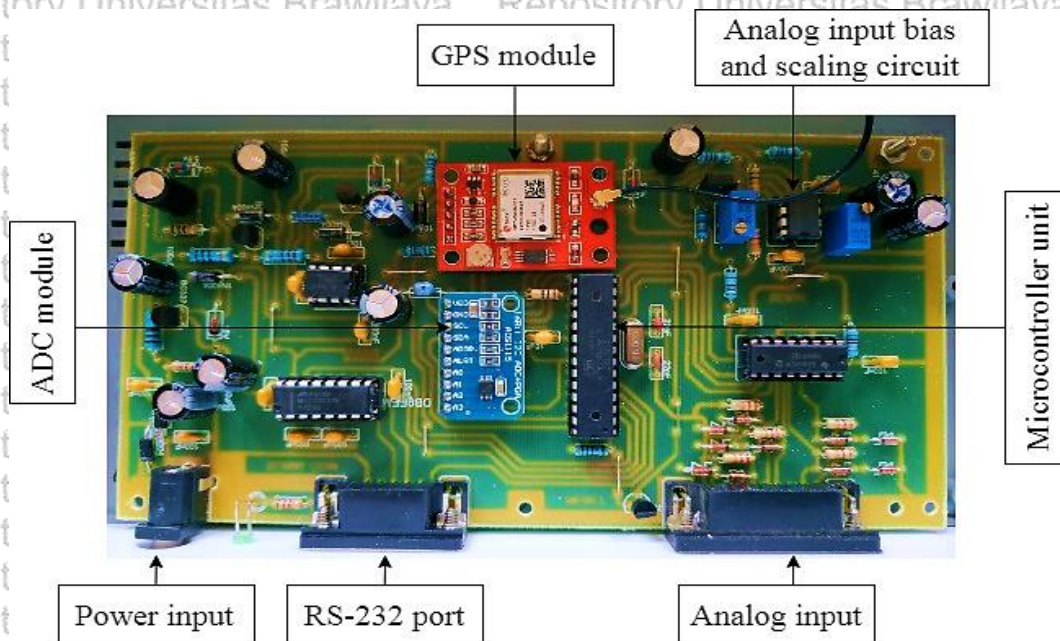
Ada 5 input yang dimasukkan dengan multiplexer dan sirkuit biasing dan scaling.

Kecepatan pengambilan sampel dapat dipilih dari 10sps hingga 100sps.

Komunikasi utama yang digunakan sebagai jalur komunikasi data dengan PC menggunakan UART dengan RS-232 converter.

Penunjuk waktu dan penanda lokasi, modul GPS tipe Ublox NEO-6M digunakan. Modul ini adalah GPS untuk keperluan umum, memiliki tingkat ketepatan waktu yang cukup tinggi sekitar 100uS. Namun, dalam modul *digitizer* ini akurasi yang dicapai sekitar <5ms. Akurasi waktu ini cukup baik untuk data

seismik Tektonik dan Vulkanik. Gambar 5.2 di bawah ini adalah digitizer foto perangkat keras yang telah dirancang.



Gambar 5.2 Foto digitizer sebagai pemroses sinyal

5.2 Database Server, Earthworm System Software, dan Winston Wave Server

MySQL sebagai *database management system* serta *Earthworm* dan *Winston* di setting pada satu computer yang sama. MySQL digunakan sebagai pengatur keluar masuknya data yang disimpan pada *database*. Semua data seismik yang masuk disimpan pada tabel data yang telah dibuat secara otomatis oleh *Winston*. *Winston* digunakan sebagai penyedia akses data seismik menuju klien sekaligus mengekspor data untuk disimpan di MySQL. Data seismik dari digitizer kemudian dikirim ke *Earthworm* menggunakan software yang sudah dibuat.

Selanjutnya data diolah oleh *Earthworm* untuk di simpan dalam bentuk file berformat SAC, disimpan dalam bentuk *helicorder* berformat JPEG, mengirimkannya ke *Winston* untuk disimpan ke dalam database, dan lain – lain sesuai dengan konfigurasi dan module program yang digunakan. Untuk dapat

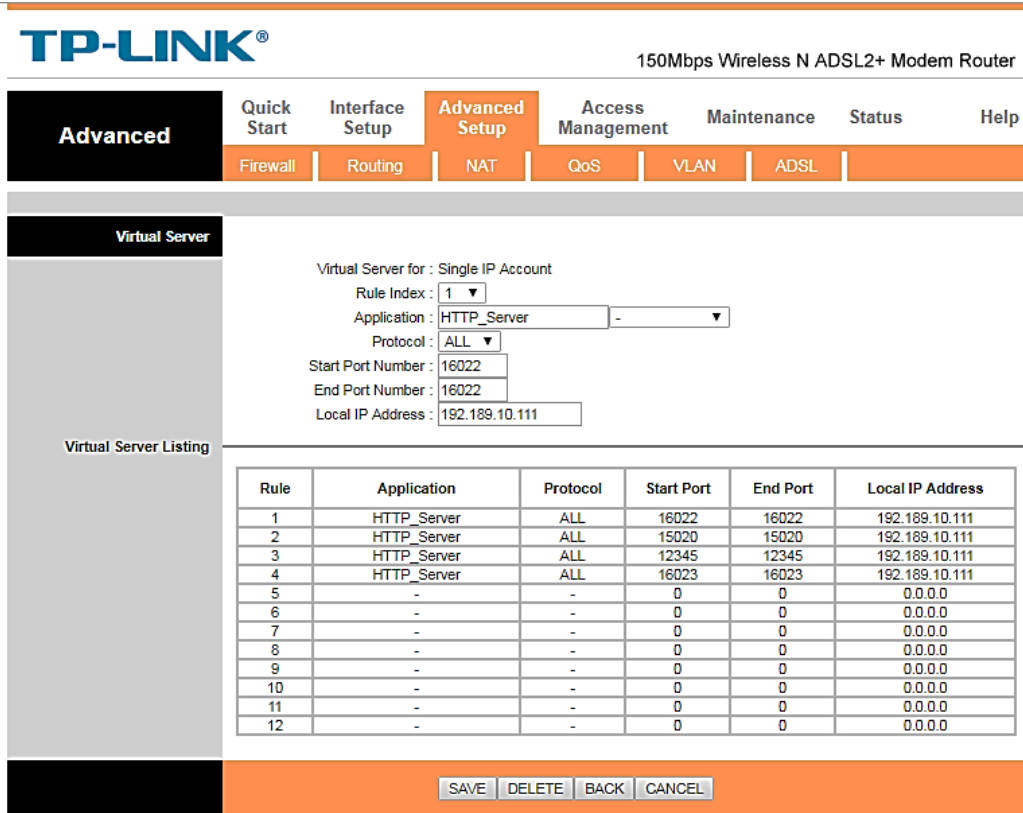
diakses dari luar, maka internet dari jaringan ADSL yang sudah disediakan di Pos Sawur digunakan. Data sesimik dapat diakses menggunakan aplikasi SWARM.

Gambar 5.3 dan gambar 5.4 adalah screenshot dari konfigurasi sistem yang sudah dibuat gambar 5.5 adalah aplikasi SWARM yang digunakan untuk mengakses data..

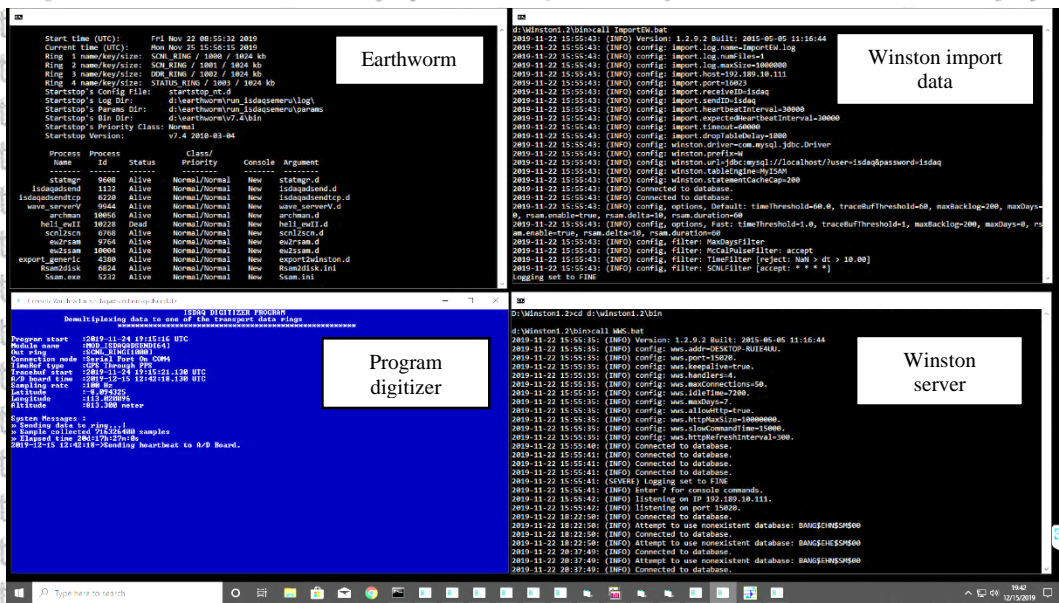
Modem dikonfigurasi untuk dapat menerjemahkan IP Publik dan Port menuju computer server. Berikut ini konfigurasi modem ADSL dengan memanfaatkan fitur virtual server dari NAT modem sebagai gateway antara klien dengan server database serta beberapa alamat IP dari sistem.

1. Virtual server 1. IP Address 192.189.10.111 Port 16022 merupakan alamat dan port *Earthworm Wave Server*
2. Virtual server 2. IP Address 192.189.10.111 Port 16023 merupakan alamat dan port *Earthworm Export Generic*
3. Virtual server 3. IP Address 192.189.10.111 Port 15020 merupakan alamat dan port *Winston Wave Server*
4. Virtual server 3. IP Address 192.189.10.111 Port 12345 merupakan alamat dan port *Web Server*
5. *semerumcs.serverquake.com* merupakan alamat DDNS yang didaftarkan untuk host name dari IP Publik yang ada pada modem. DDNS ini menggunakan server dari NoIP.com, yang bersifat free dengan konfirmasi nama domain setiap bulanya.
6. IP Address 192.189.10.110 port 5000 merupakan alamat dari sistem yang ada di stasiun leker. Menggunakan protok TCP untuk mentransmisikan data seismik dari digitizer.

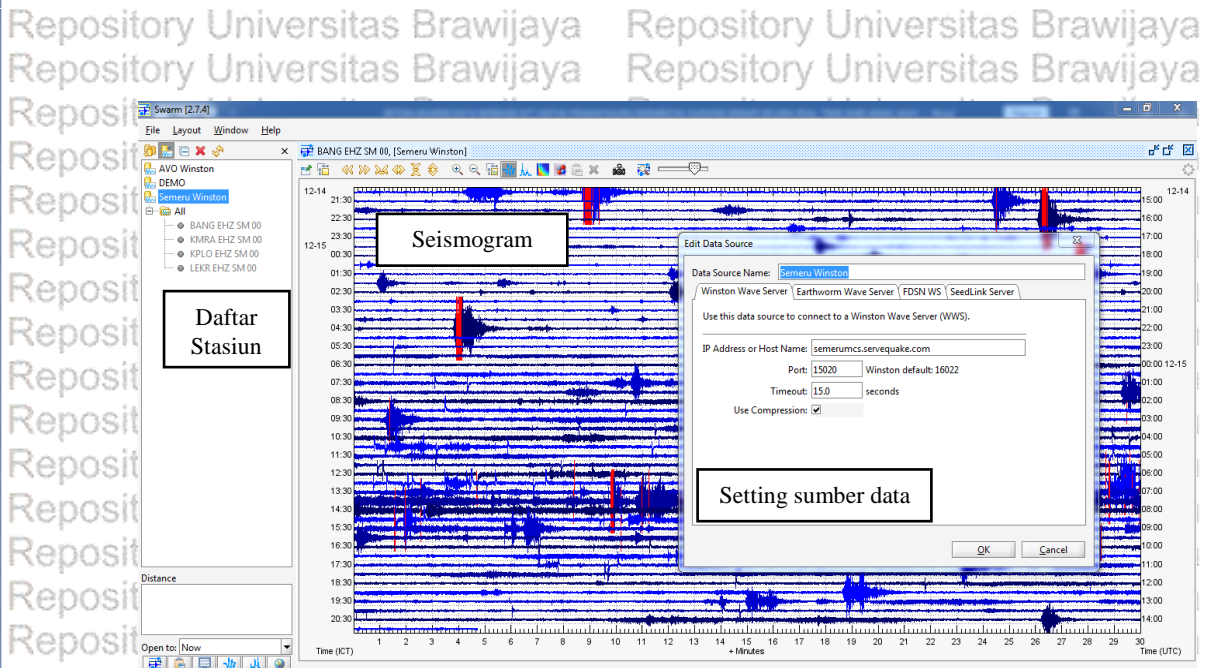
7. IP Address 192.189.10.2 merupakan alamat modem ADSL yang ada pada pos Sawur.



Gambar 5.3 Screenshot konfigurasi virtual server NAT pada modem ADSL

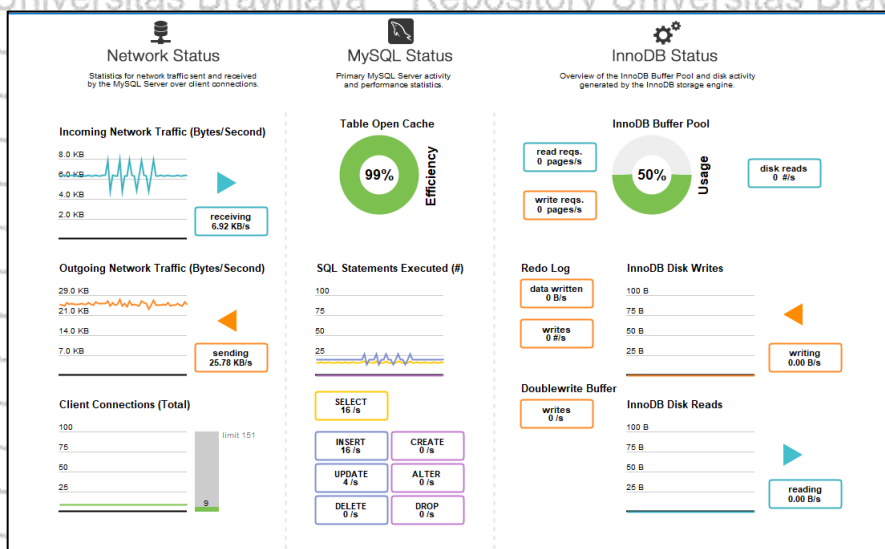


Gambar 5.4 Screenshot sistem pemrosesan data yang sedang bekerja



Gambar 5.5 Antarmuka aplikasi SWARM

Pada Gambar 5.6 diperlihatkan bagaimana statistik server dari MySQL bertugas mengatur masuk dan keluarnya data. Jumlah bandwidth yang keluar untuk klien adalah sekitar 26 kbps, sedangkan bandwidth upstream yang tersedia di jaringan ADSL adalah 64 kbps. Sehingga klien maksimum untuk komunikasi yang efektif hanya 4 klien, jika klien yang meminta *request* data sangat banyak, maka akan terjadi latensi atau *lag* dalam pengiriman data.



Gambar 5.6 Statistik MySQL ketika klien mengakses data



5.3 Installasi Stasiun Seismik di Stasiun Seismograf Leker

Stasiun seismik yang telah dirancang, ditempatkan menjadi satu dengan stasiun gunung api Semeru yang ada, yaitu di stasiun Leker. Stasiun ini memiliki garis lintang $8^{\circ} 08' 14.8''$ S, bujur $112^{\circ} 59' 09.4''$ T, dan ketinggian 1060 meter.

Lokasi ini sekitar 10 km dari puncak gunung Semeru, dan sekitar 4 km dari pos pengamatan. Daerah Leker ini adalah daerah dengan tipe tanah kelas I (Batuan) yang memiliki nilai koreksi efek tapak lokal 1 dan stasiun seismik leker ini dijadikan sebagai referensi untuk stasiun seismograf gunungapi Semeru lainnya.

Faktor amplifikasi pada jaringan stasiun seismik yang berbeda sangat berpengaruh dalam menentukan besaran, terutama besaran lokal. Jenis besarnya lokal diperlukan untuk menentukan besarnya gempa bumi mikro yang hanya dicatat di stasiun skala lokal. Area batuan seperti Leker adalah area yang cocok untuk digunakan sebagai lokasi sensor. Selain bebatuan yang merupakan hasil pelepasan magma, data yang telah direkam pada seismogram analog juga menunjukkan jumlah peristiwa gempa, seperti gempa vulkanik, *Long-Period* (LP), letusan/hembusan, dan tremor. Gambar 5.7 sampai dengan gambar 5.11 adalah foto pemasangan stasiun seismik di daerah Leker. Fungsi bunker pada gambar 5.7 adalah untuk melindungi seismograf dari gangguan binatang, serta melindungi dari perubahan cuaca yang ekstrim. Sumber catu daya aki dan sensor diletakkan di dalam bunker. Sensor tidak perlu ditanam di bawah permukaan tanah, karena jenis sensor yang digunakan bukan tipe borehole.



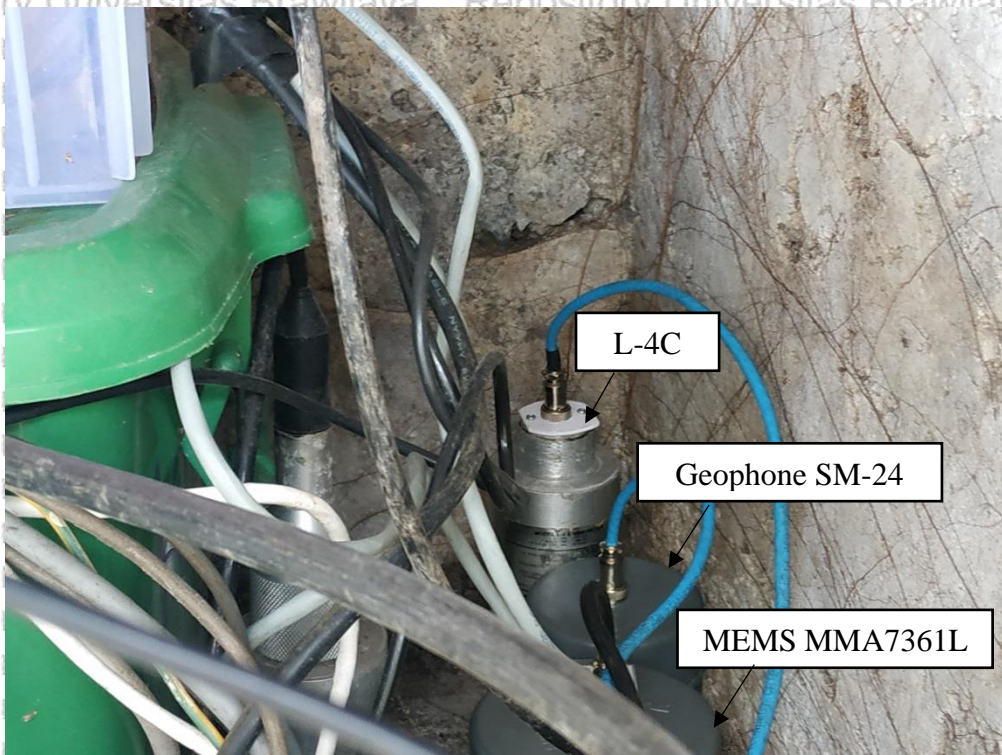
Gambar 5.7 Foto bunker stasiun seismograf Leker



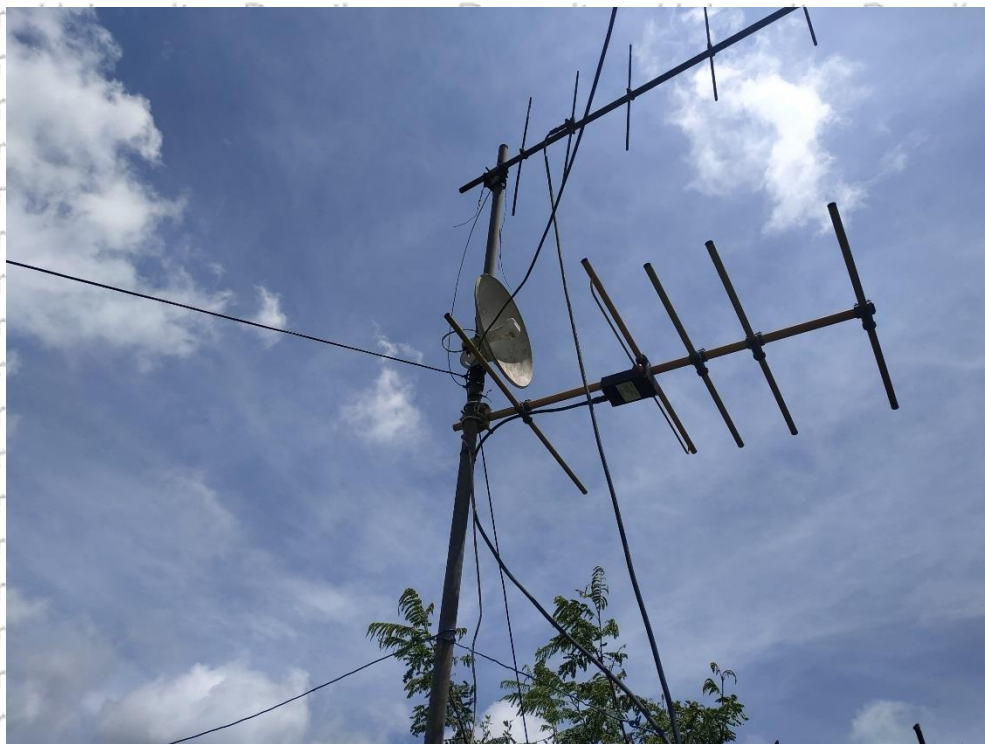
Gambar 5.8 Empat daya aki sebanyak 8 buah



Gambar 5.9 Sistem seismograf yang dikembangkan



Gambar 5.10 Tiga buah sensor seismik yang dipasang



Gambar 5.11 Radio transmitter analog dan digital

Data yang ditransmisikan dari stasi leker selanjutnya diterima dan diolah di pos pengamatan gunungapi sawur. Data dari sistem yang dibuat ditampilkan pada komputer server dalam bentuk seismogram digital menggunakan aplikasi SWARM. Gambar 5.12 sampai dengan gambar 5.15 merupakan foto bagian receiver di pos PGA Sawur.



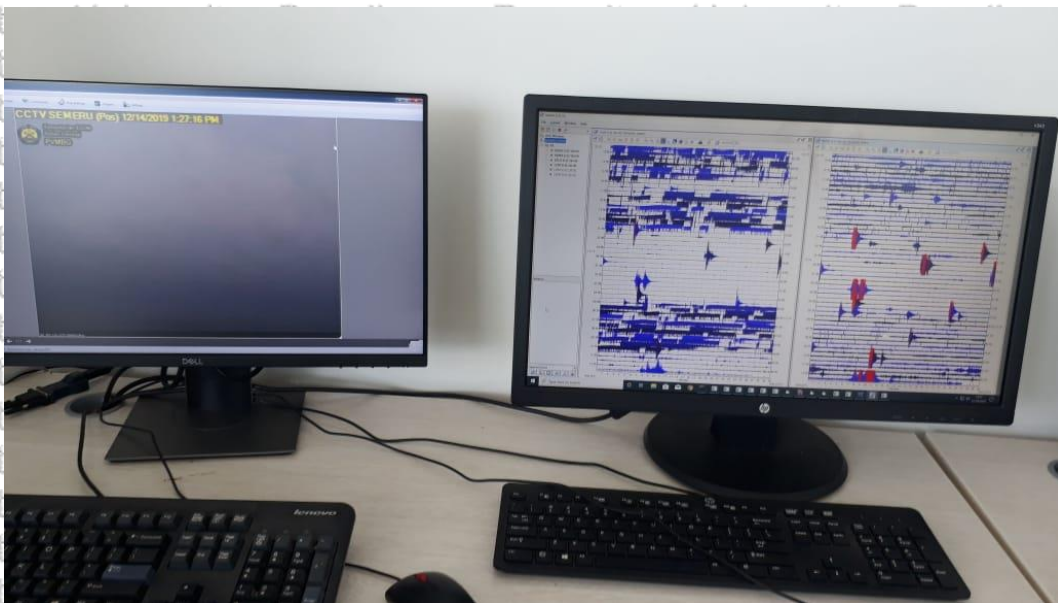
Gambar 5.12 Pos pengamatan gunungapi Sawur



Gambar 5.13 Antena *receiver* analog dan digital



Gambar 5.14 Seismogram analog PVMBG stasiun Leker



Gambar 5.15 Komputer server untuk monitoring dan penyimpanan data

5.4 Seismogram dari Sistem hasil Pengembangan dengan Sistem milik PVMBG

Sinyal seismik yang telah diterima, kemudian di olah oleh software Earthworm dan di simpan kedalam databae MySQL. Data yang keluar dan masuk database di fasilitasi oleh software Winston Wave Server. Winston akan menerima



data dari Earthworm, kemudian di distribusikan ke MySQL. Data yang telah diolah dapat diakses menggunakan software Seismik Wave Analyze and Realtime Monitoirng (SWARM) ataupun diakses lewat website. Alamat server yang digunakan untuk mengakses data seismik menggunakan SWARM adalah “semerumcs.servequake.com” dengan port “15020”.

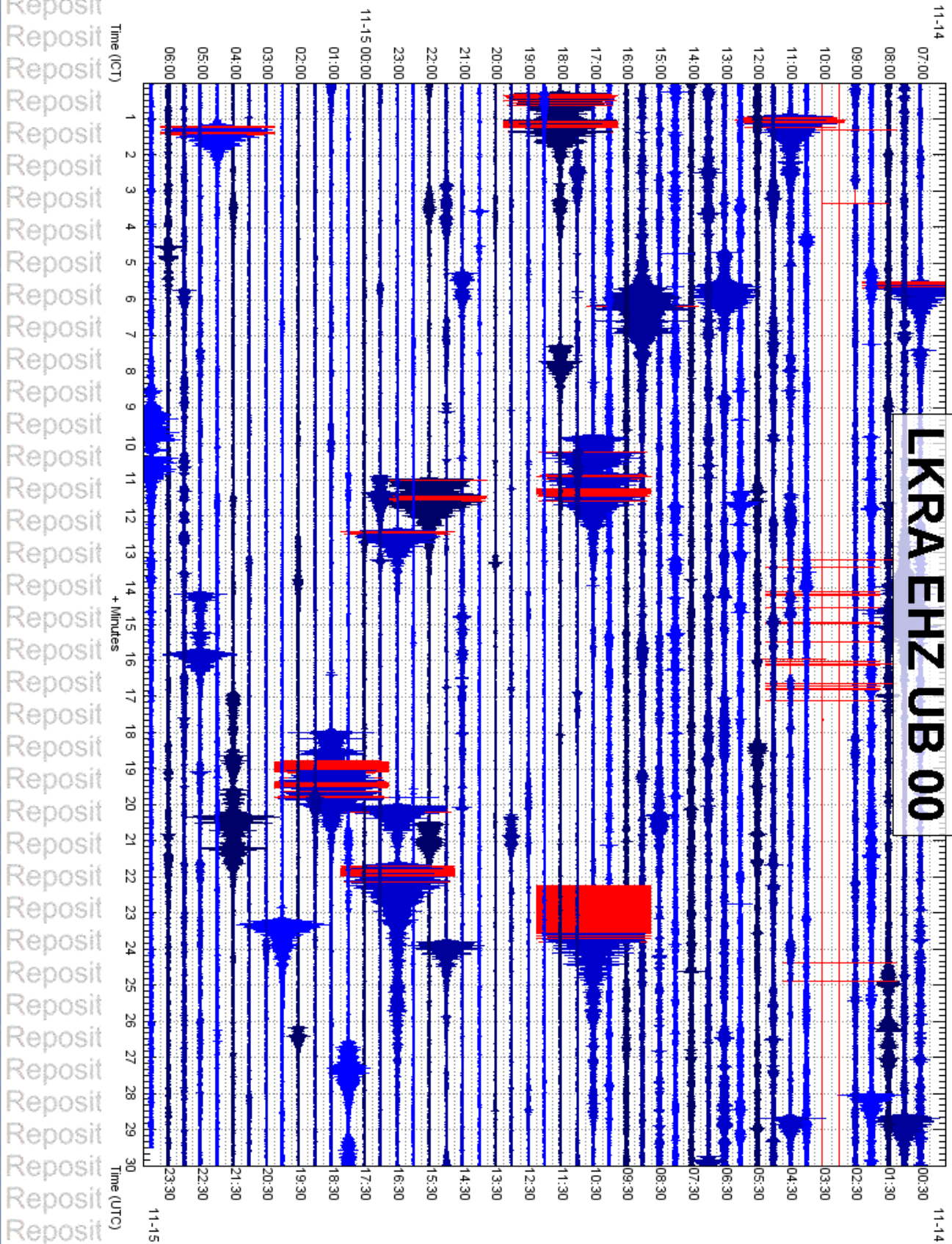
Data seismogram yang diambil pada tanggal 14 November 2019, antara stasiun seismikleker PVMBG dan sistem yang dikembangkan terdapat perbedaan kualitas data. Data seismogram milik PVMBG banyak terdapat error, hal disebabkan karena faktor transmisi data. Dimana data yang ditransmisikan dalam bentuk data analog yaitu sinyal seismik di bawa gelombang FM VCO. Dalam hal ini, interferensi sinyal oleh geleombang elektromagnetik serta gangguan karena lingkungan akan sangat besar pengaruhnya. Sehingga kualitas data yang di hasilkan akan kurang baik. Selain itu faktor *hardware* penerima seperti *diskriminator* frekuensi / *demodulator* juga mempengaruhi data analog yang diterima.

Berbeda dengan data seismogram dari sistem yang dikembangkan. Karena data yang ditransmisikan sudah dalam bentuk digital dan di propagasikan menggunakan media WiFi 5Ghz, data seismik yang dihasilkan tidak banyak memiliki gangguan dan relatif dapat di baca dengan baik. Faktor data digital yang tidak mudah terinterferensi oleh gelombang elektromagnetik lain serta ketahanan terhadap cuaca dan lingkungan menyebabkan kulaitas data yang di hasilkan sudah cukup baik. Sistem pemantauan seismik yang telah dipasang di Stasiun Leker dapat merekam beberapa peristiwa gempa bumi, seperti *volcano-tectonic* tipe A (VT-A), *event Long-Period* (LP), letusan, dan tremor. Dengan sistem yang kompatibel dengan perangkat lunak analisis SWARM, peristiwa gempa yang terjadi dapat

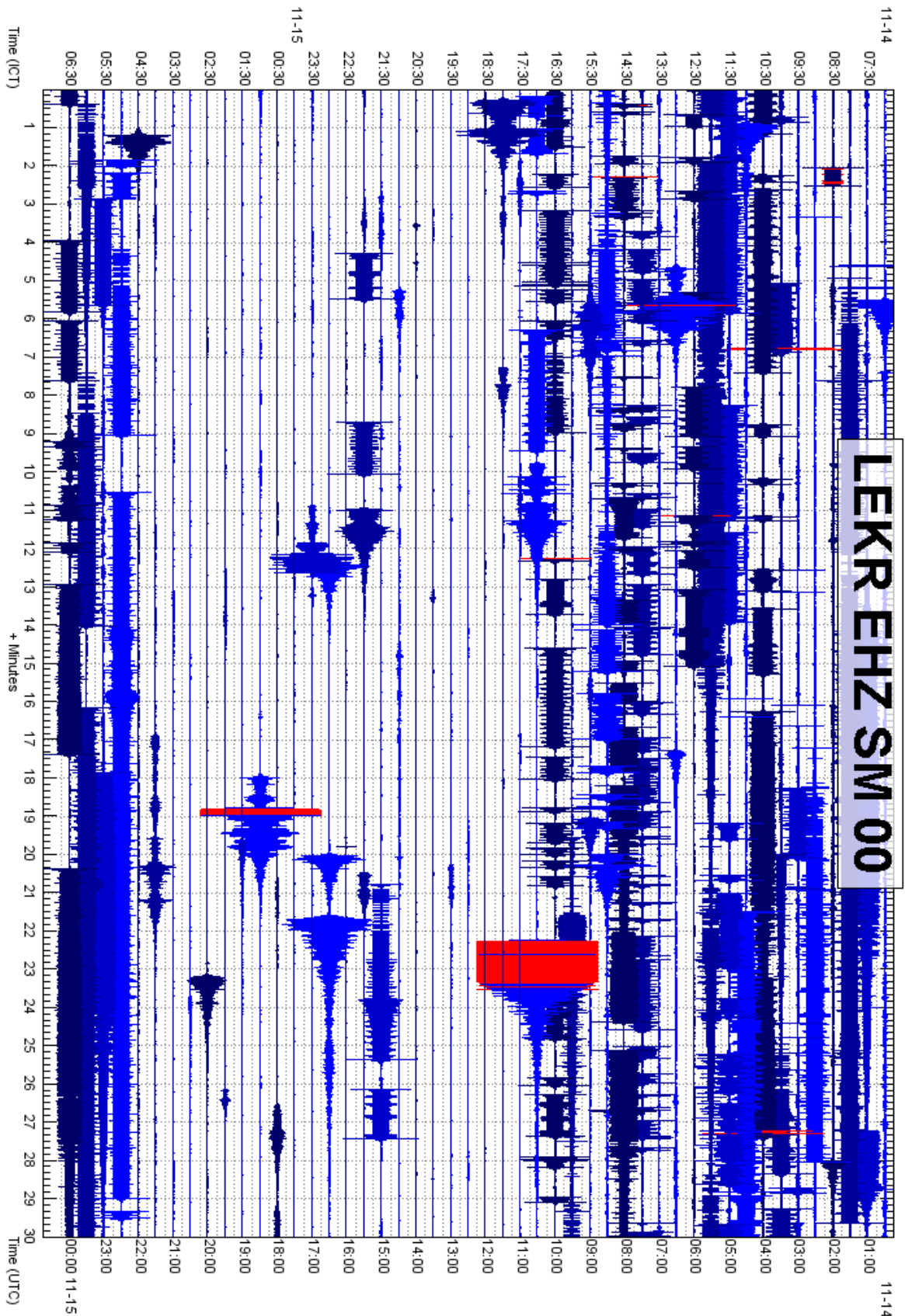
dianalisis secara langsung pada waktu itu. Sehingga informasi yang berkaitan dengan amplitudo gempa, dan sebagainya dapat diperoleh dalam waktu singkat.

Gambar 5.16 adalah seismogram dari seismograf yang sudah dibuat dengan lama pemantauan 24 jam, yang menunjukkan banyak peristiwa seismik, terutama gempa bumi vulkanik tipe A dan letusan. Data tersebut adalah data yang direkam oleh seismometer L-4C, yang merupakan sensor paling sensitif. Sementara dua sensor lainnya, Geophone SM-24 dan MEMS Accelerometer MMA7361L, tidak dapat merekam, karena energi gempa yang relatif rendah dan faktor frekuensi gempa yang hanya dominan di bawah 4Hz. Sementara geophone memiliki frekuensi alami 4,5Hz. Sebagai data pembanding, stasiun leker, besuk bang, dan kepolo milik PVMBG juga direkam dengan digitizer yang ada di pos sawur. Gambar 5.17 samapi dengan gambar 5.20 adalah seismogram stasiun seismik PVMBG.

Data seismik juga disimpan dalam bentuk file berformat *Seismic Analyze Code* (SAC). Format ini adalah yang banyak dipakai PVMBG untuk menyimpan data seismik. File tersebut digunakan untuk keperluan analisis lebih lanjut mengenai aktivitas seismik gunungapi yang bersangkutan. Data lain yang diperlukan untuk mengetahui aktivitas seismik gunungapi adalah data *Realtime Seismic Amplitude Measurement* (RSAM).



Gambar 5.16 Seismogram stasiun Leker dari sistem hasil pengembangan



Gambar 5.17 Seismogram stasiun Leker milik PVMBG



Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

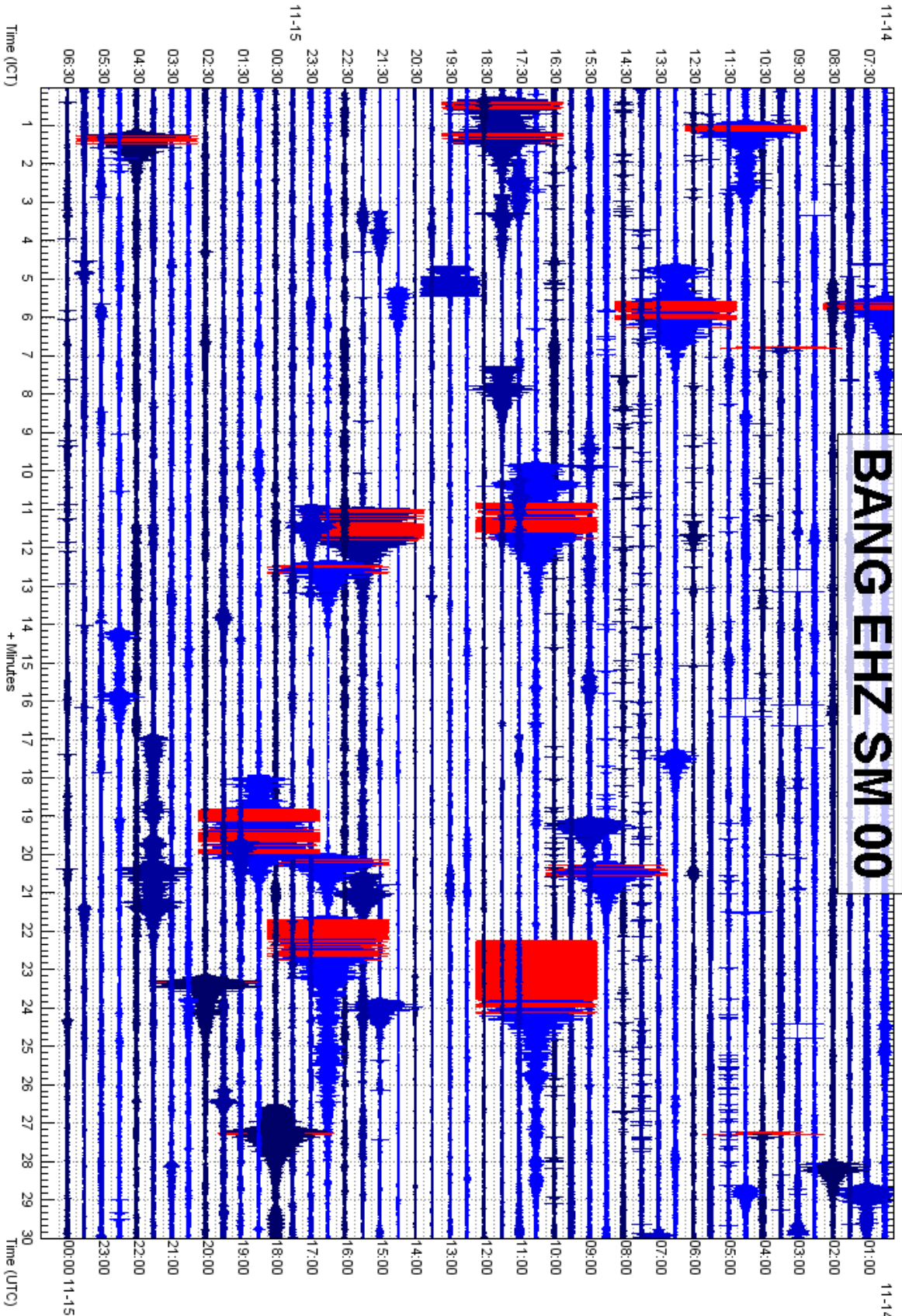
Reposit

Reposit

Reposit

Reposit

Reposit



Gambar 5.18 Seismogram stasiun Besuk Bang milik PVMBG



Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Time (ICT)

06:30

05:30

04:30

03:30

02:30

01:30

00:30

23:30

22:30

21:30

20:30

19:30

18:30

17:30

16:30

15:30

14:30

13:30

12:30

11:30

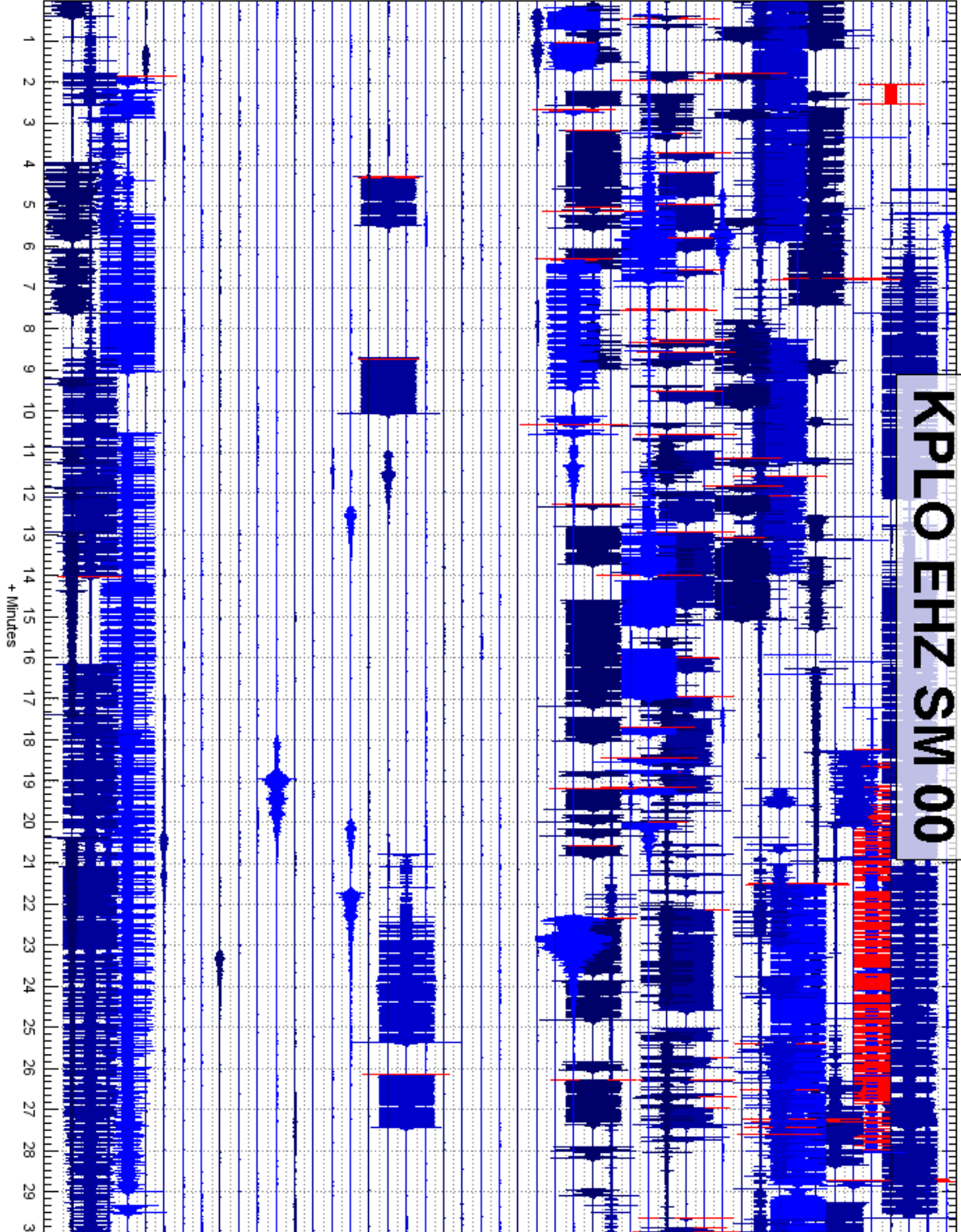
10:30

09:30

08:30

07:30

11-14



KPLO EHZ SM 00

Time (UTC)

00:00

23:00

22:00

21:00

20:00

19:00

18:00

17:00

16:00

15:00

14:00

13:00

12:00

11:00

10:00

09:00

08:00

07:00

06:00

05:00

04:00

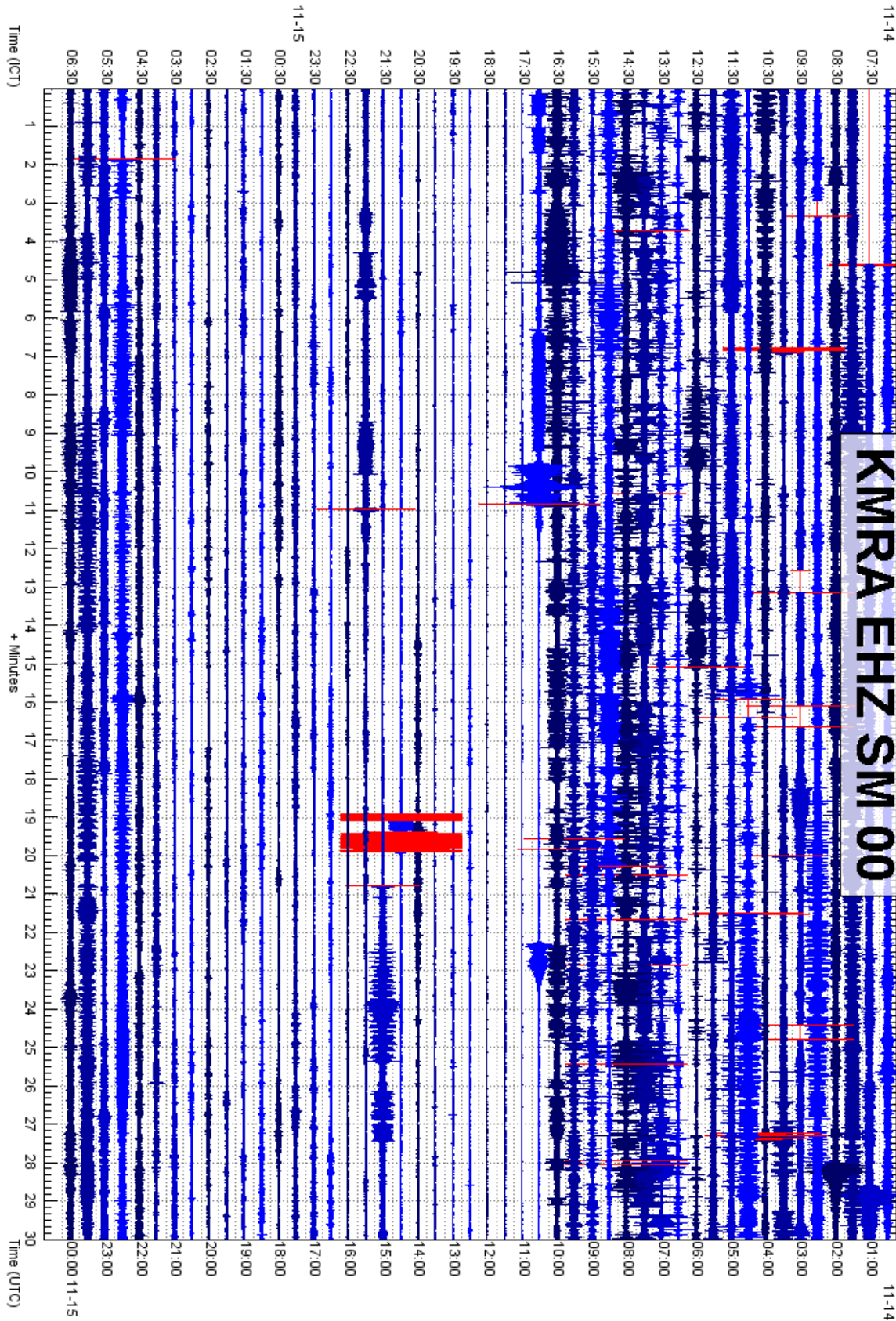
03:00

02:00

01:00

11-14

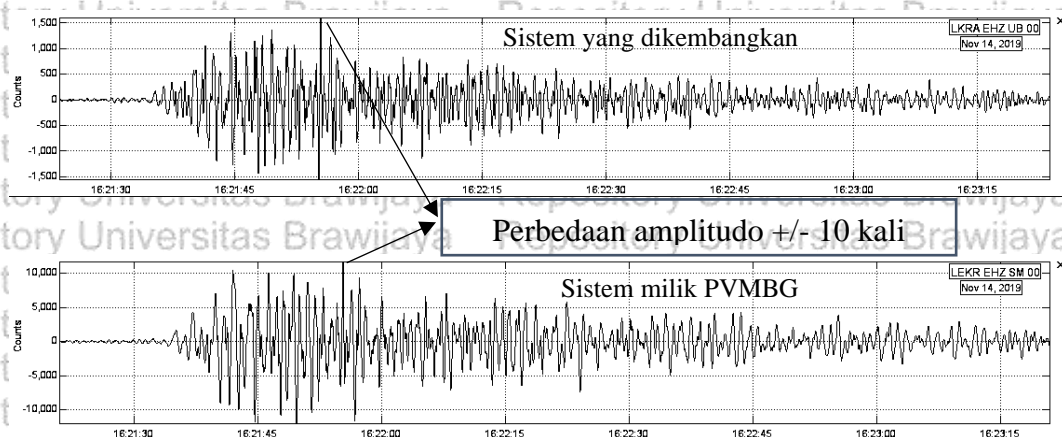
Gambar 5.19 Seismogram stasiun Kepolo milik PVMBG



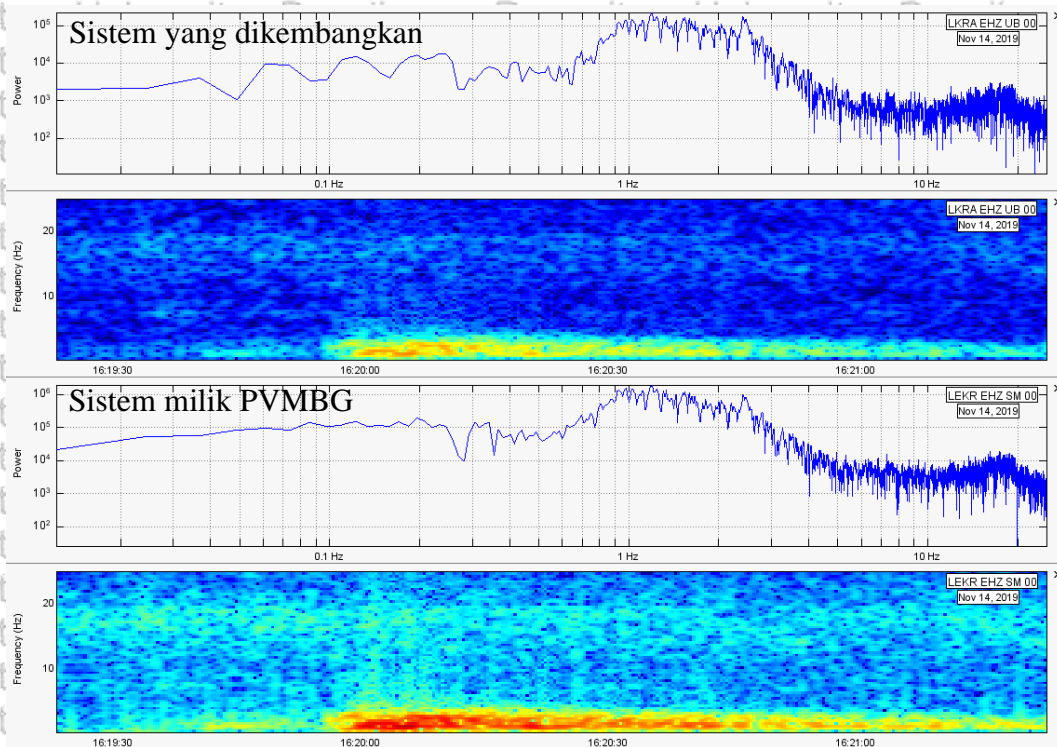
Gambar 5.20 Seismogram stasiun Kamar A milik PVMBC

5.5 Perbandingan Data dari Sistem yang Sudah di Kembangkan dengan Data dari Sistem Milik PVMBG

Data dari sistem yang telah dikembangkan dengan sistem milik PVMBG yang ada di stasiun Leker adalah sama. Perbedaan yang terlihat hanyalah pada besarnya amplitudo. Amplitudo seismogram milik PVMBG lebih besar dikarenakan amplifikasi pada pengondisi sinyal 10 kali lebih besar dari pada sistem yang di kembangkan ini. Sistem milik PVMBG memiliki pebesaran 60 dB (1000x) sedangkan sistem yang dikembangkan ini memiliki penguatan 40 dB (100x). Penguatan 60 dB dipakai oleh PVMBG karena digunakan untuk megejar rekaman analog, dimana rekaman analog cenderung memiliki *dynamic range* yang rendah serta karena transmisi data masih menggunakan radio analog. Sehingga untuk dapat merekam gempa dengan amplitude kecil dibutuhkan penguatan yang besar. Untuk nilai frekuensi dari gempa yang direkam, tidak perbedaan signifikan, dan nilainya bias dikatakan sama. Gambar 5.21 dan gambar 5.22 berikut ini merupakan perbandingan salah satu sinyal seismik yang direkam oleh masing-masing sistem.



Gambar 5. 21 Perbandingan amplitudo sinyal seismik yang direkam oleh sistem yang dikembangkan dengan sistem milik PVMBG



Gambar 5. 22 Perbandingan frekuensi sinyal seismik yang direkam oleh sistem yang dikembangkan dengan sistem milik PVMBG

5.6 Klasifikasi Tipe Gempa yang Terekam oleh Seismogram Sistem

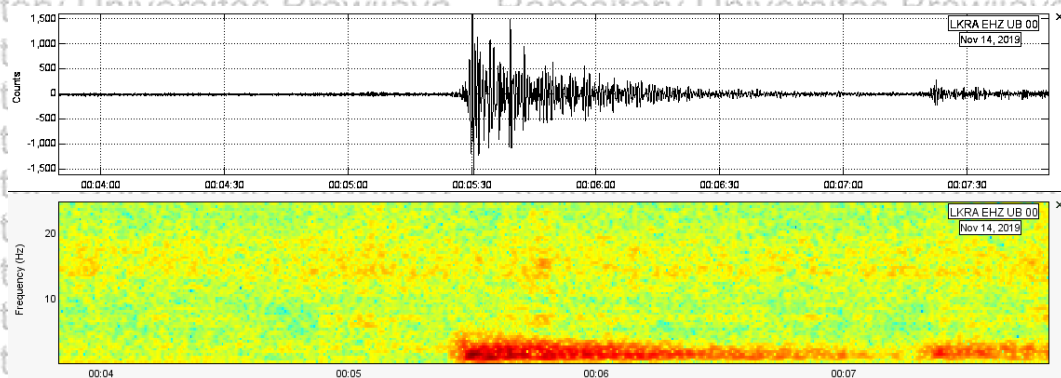
Data seismogram dari sistem yang telah dikembangkan mencatat banyak peristiwa kegempaan gunungapi Semeru. Seismogram harian pada tanggal 14 November 2019 teridentifikasi empat jenis gempa yaitu *Volcano-Tectonic* Tipe A (VT-A), *Long-Period* (LP), dan Hembusan.

1. Gempa VT-A gunungapi Semeru memiliki rentang frekuensi 1 sampai dengan 3 Hz. Gambar 5.23 menunjukkan *event* VT-A pada tanggal 14 November 2019 pukul 00:05:26 UTC.
2. *Event* Long-Period (LP) gunungapi Semeru memiliki rentang frekuensi 2 sampai 5 Hz dengan frekuensi dominan di sekitar 3 Hz. Lama gempa yang terjadi

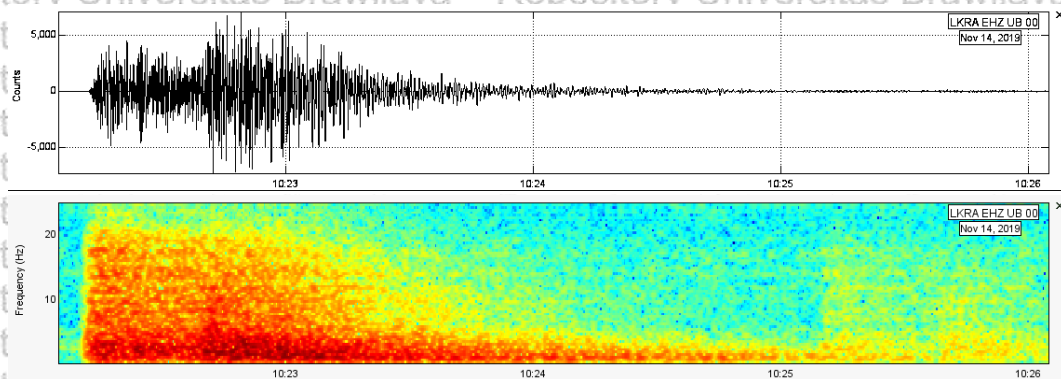
lebih dari 100 s. Gambar 5.24 menunjukkan *event* Long-Period pada tanggal 14 November 2019 pukul 10:22:12 UTC.

3. Gempa hembusan atau letusan gunungapi Semeru memiliki rentang frekuensi 1 sampai 3Hz. Gempa hembusan dalam seismogram per tanggal 14 November 2019 merupakan *event* yang banyak di rekam oleh sistem. Gambar 5.25 menunjukkan *event* gempa hembusan yang terjadi pada tanggal 14 November 2019 pukul 16:21:34 UTC.

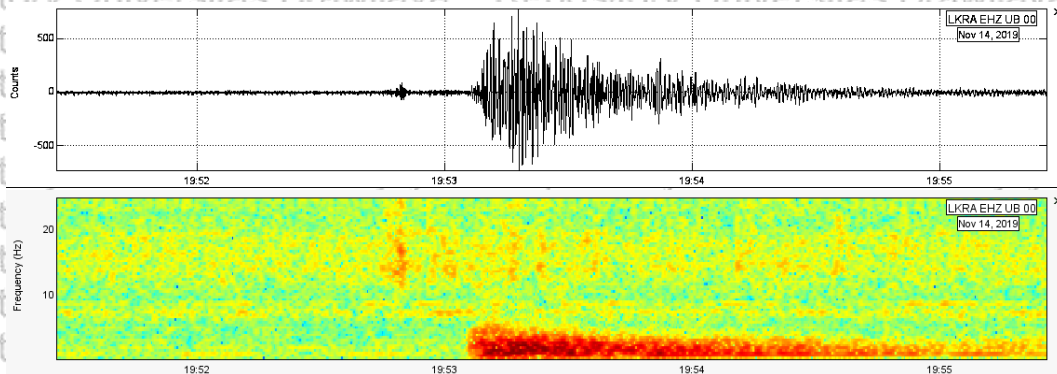
4. Tremor yang direkam oleh sistem kebanyakan adalah tremor vulkanik dan jarang sekali terekam tremor harmonik. Gambar 5.26 menunjukkan *event* tremor vulkanik pada tanggal 14 November 2019 pukul 08:35:16 UTC.



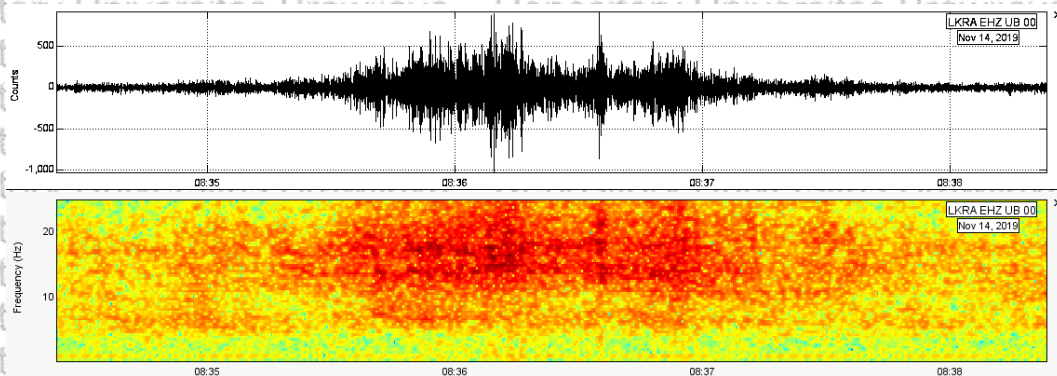
Gambar 5. 23 Bentuk gelombang (*waveform*) dan spectrogram frekuensi gempa VT-A



Gambar 5. 24 Bentuk gelombang (*waveform*) dan spectrogram frekuensi seismik Long-Period (LP)



Gambar 5. 25 Bentuk gelombang (*waveform*) dan spectrogram frekuensi gempa hembusan



Gambar 5. 26 Bentuk gelombang (*waveform*) dan spectrogram frekuensi event Tremor

Untuk dapat mengkonversi satuan hitung digital menjadi mm/s (milimeter per detik) atau um/s (mikrometer per detik), perlu untuk mengetahui koreksi instrumen, termasuk sensitivitas sensor, penguatan instrumen, dan volt/bit dari digitizer, koreksi amplitude, dan koreksi efek lokal.

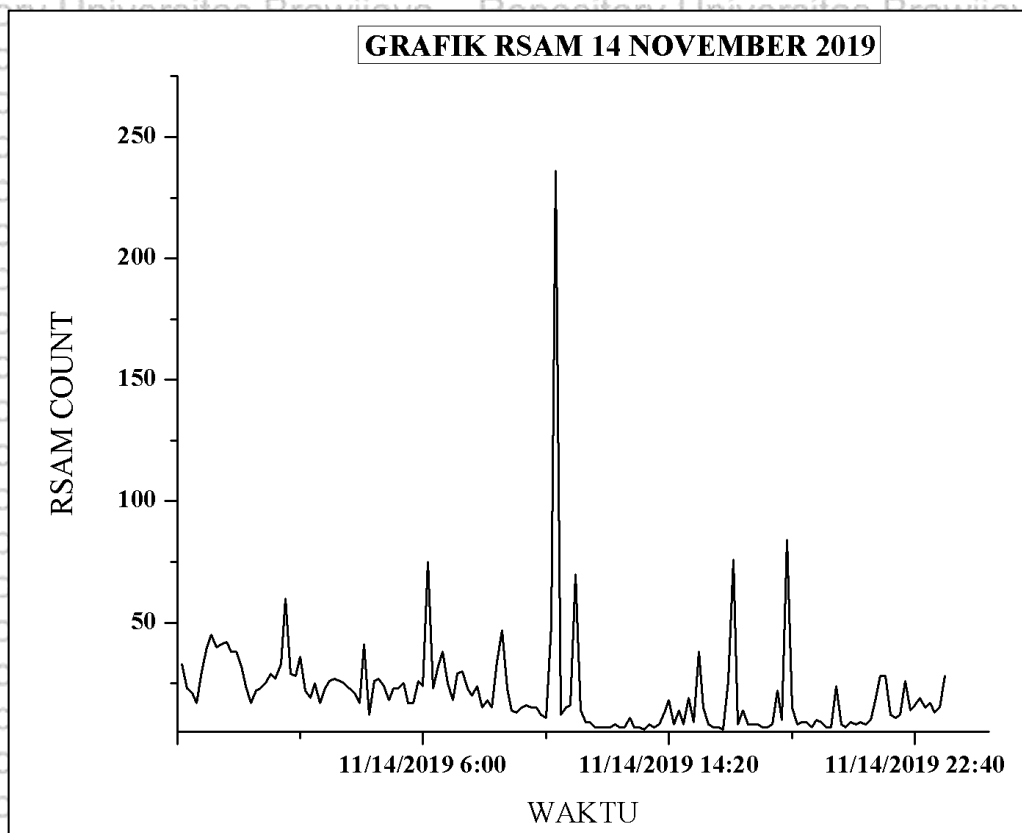
5.7 Data *Realtime Seismic Amplitude Measurement (RSAM)* Kegempaan Gunungapi Semeru

Kegempaan yang terjadi akibat adanya aktifitas suatu gunungapi merupakan salah satu parameter pemantauan yang sangat penting. Data RSAM merupakan hasil integrasi data seismik yang telah disampling dengan kecepatan 60 data – 100 data



perdetiknya. Data tersebut kemudian dirata-rata setiap 5 atau 10 menit sekali dan kemudian disimpan dalam bentuk teks ke dalam hardisk atau memory untuk kemudian dapat diinformasikan melalui layar komputer ataupun dapat dikirim secara jarak.

Bentuk data yang tersimpan dalam bentuk teks dapat dibuka menggunakan program spread sheet yang ada dipasaran. Aktivitas kegempaan yang di representasikan oleh grafik pada gambar 5.26 menunjukkan bahwa aktivitas seismik gunungapi semeru relative normal tidak adanya peningkatan. Akan tetapi, pengamatan harian seperti ini kurang akurat dalam menentukan status sebagai Gunungapi, biasanya data RSAM diambil dari rentang pengamatan beberapa minggu atau bulan.



Gambar 5. 27 Gambar grafik RSAM data stasiun leker dari sistem yang telah dibuat.



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Sistem seismograf yang telah dikembangkan dapat menampung 5 kanal sensor seismik sekaligus. Hal ini sangat bermanfaat apabila digunakan untuk sensor seismik dengan 3 komponen. Transmisi data dari stasiun seismik menuju pos pengamatan yaitu menggunakan telemetri WiFi 5 Ghz, sehingga data yang di transmisikan tidak rentan terganggu akibat adanya perubahan cuaca maupun interferensi gelombang elektromagnetik.

Sistem Berbasis IoT untuk Pemantauan aktivitas vulkanik seismik sangat membantu dalam penelitian dan pemantauan jarak jauh. Sebuah sistem yang menggabungkan komunikasi internet berbasis ADSL dan server database seismik menjadi satu kesatuan sistem pemantauan jarak jauh aktifitas seismik gunung berapi berbasis IoT. Penggunaan MySQL sebagai *database management system* dan integrasi *earthworm* serta *Winston wave server* dapat memberikan akses data seismik dengan mudah dan dapat di akses dengan menggunakan internet melalui aplikasi SWARM. Data juga dapat di integrasikan dengan website yang sekiranya membutuhkan informasi rekaman seismik untuk di tampilkan pada website tersebut.

Penggunaan jaringan ADSL untuk transmisi data atau menyebar luaskan data sangat efisien dalam penerapannya pada penelitian ini. Kecepatan transmisi data untuk upstream yang hanya sekitar 64 kbps tidak menjadi kendala untuk menyediakan akses data seismik secara realtime. Sistem pemantauan seismik berbasis IoT ini juga dapat digunakan sebagai jaringan sistem pemantauan seismik



jika banyak sistem di implementasikan di banyak lokasi. Sistem IoT yang dibuat juga termasuk dalam sistem yang tidak mahal, dan sangat mudah diterapkan, terutama untuk negara-negara berkembang dan memiliki banyak gunung berapi seperti di Indonesia.

6.2 Saran

Beberapa kekurangan yang perlu diperbaiki adalah jaringan internet ADSL yang menyediakan bandwidth terbatas. Kecepatan upstream hanya 64kBps dan hanya mampu menyediakan komunikasi yang efektif untuk 4 klien. Jika banyak klien akan terhubung, maka jaringan ADSL harus diganti dengan yang lebih baru, seperti menggunakan komunikasi serat optik, yang memiliki ketersediaan bandwidth yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

Al-alawi, A. I. (2015). *WiFi Technology: Future Market Challenges and Opportunities*. *WiFi Technology: Future Market Challenges and Opportunities*. (March). <https://doi.org/10.3844/jcssp.2006.13.18>

Alwan, C., Zacoeb, A., Santjojo, D. J. D. H., Santoso, D. R., Program, M., Teknik, M., ... Brawijaya, U. (2017). *TELEMETRI AKTIVITAS GUNUNG BERAPI MENGGUNAKAN SENSOR SEISMIK 3C DENGAN GELOMBANG WIFI 2.4GHz*. *11*(1), 17–23.

Americans, 5G. (2019). *The Future of IoT*.

Babiker, R., Abdelrahman, M., & Mustafa, A. B. A. (2015). *A Comparison between IEEE 802.11a, b, g, n and ac Standards*. *17*(5), 26–29. <https://doi.org/10.9790/0661-17532629>

Borgia, A., Aubert, M., Merle, O., & Van Wyk De Vries, B. (2010). What is a volcano? *Special Paper of the Geological Society of America*, *470*(June 2014), 1–9. [https://doi.org/10.1130/2010.2470\(01\)](https://doi.org/10.1130/2010.2470(01))

Bowden, G. B. (2003). *Calibration of Geophone Microseismik Sensors*. (October), 1–9.

Carter, B., & Brown, T. R. (2016). *HANDBOOK OF OPERATIONAL AMPLIFIER APPLICATIONS*. (September), 1–94.

Elmasri, R. (2010). *FUNDAMENTALS OF Database Systems*.

Evita, M., Djamal, M., Zimanowski, B., & Schilling, K. (2016). Mobile Monitoring System for Indonesian volcano. *Proceedings - 2015 4th International*



Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology and Biomedical Engineering, ICICI-BME, 2015, 278–281.

<https://doi.org/10.1109/ICICI-BME.2015.7401378>

Ghosh, N., & Banerjee, I. (2019). IoT-based Seismik Hazard Detection in Coal Mines using Grey Systems Theory. *2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 871–876.

<https://doi.org/10.1109/iwcmc.2019.8766777>

Goldsmith, A. (2005). *WIRELESS COMMUNICATIONS*.

Gonnermann, H. M. (2015). Magma Fragmentation. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 43(1), 431–458. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-060614-105206>

Groff, J. R., & Weinberg, P. N. (1999). *SQL: The Complete Reference*.

GSM Association. (2014). *Understanding the Internet of Things (IoT)*. (July).

Hons, M. S. (2008). *Seismik sensing: Comparison of geophones and accelerometers using laboratory and field data*.

Hrvatska, R., & Infrastructure, T. (2002). *Adsl technology*.

Hulu, E., & Katolik, U. (2015). *Tinjauan _ Penggunaan _ Jaringan _ Sensor _ Nirkabel _ un Tinjauan Penggunaan Jaringan Sensor Nirkabel untuk Pemantauan Gunung Api*. (October).

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2904.3360>

Ibrahim, M., Elgamri, A., Babiker, S., & Mohamed, A. (2015). Internet of things based smart environmental monitoring using the Raspberry-Pi computer. *2015*



5th International Conference on Digital Information Processing and Communications, ICDIPC, 2015, 159–164.

<https://doi.org/10.1109/ICDIPC.2015.7323023>

J. Wasserman. (2000). *Volcano Seismology*, 1–42.

Jamal, Z., & Jamal, Z. (2011). *Pendeteksi Gempa Dengan Metode FM Berbasis Personal Computer Zaidir Jamal*, 11(1).

Kim, N., & Zazo, J. (2019). *Internet of Things*.

Mara E. Conner. (2018). *Active Filter Design Techniques*, 16.1.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811648-7.00016-9>

Maryanto, S., & Mulyana, I. (2008). *Temporal Change of Fractal Dimension of Explosion Earthquakes and Harmonic Tremors at Semeru Volcano, East Java, Indonesia, using Critical Exponent Method*, 2(6), 47–51.

Merrouchi, R. (2015). *The use of satellite communication for the transmission of observational data issued from surface based observation systems in Morocco : opportunities and constraints Abstract : 2 . Heterogeneity of the adopted telecommunication means 3 . Satellite teleco.*

Quintiliani, M., & Pintore, S. (2013). *Mole : An Open Near Real-Time Database-Centric Earthworm Subsystem*, 84(4), 695–701.

<https://doi.org/10.1785/0220120066>

Rabbit. (2007). *An Introduction to Wi-Fi*.

S. A. Pactitis. (2007). *ACTIVE FILTERS: Theory and Design*.



Santoso, D. R., Maryanto, S., Nadhir, A., & Sugiharto, T. (2017). A simple and low-cost data acquisition system with multi-nodes facility for geophone array sensors. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(10), 2109–2114.

surekha, T. P. (2012). C-Band VSAT Data Communication System and RF Impairments. *International Journal of Distributed and Parallel Systems*, 3(3), 339–355. <https://doi.org/10.5121/ijdps.2012.3328>

Systems, D. (1999). *SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS. 1.*

Thornton, M. A. (2015). Fundamentals Fundamentals of of Electronics Electronics. *Book I Electronic Devices and Circuit Applications.*

Zhang, D., Fan, H., Wang, C., & Zhou, Y. (2005). Low cost and high performance power system telemetry data transmission system based on embedded ethernet and ADSL. *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference, 2005*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/TDC.2005.1546755>

Zhang, R., & Wang, M. (2010). Asymmetric digital subscriber line (ADSL) technology. *TriSAI 2010 - Proceedings of Triangle Symposium on Advanced ICT 2010*, (March), 91–95. <https://doi.org/10.7307/ptt.v9i5-6.801>