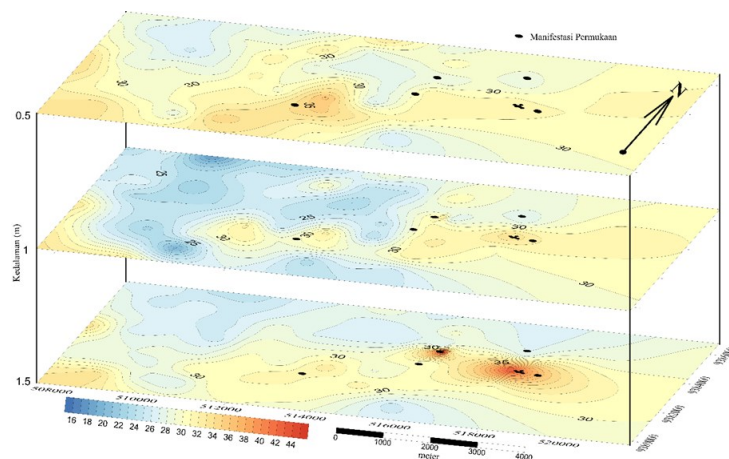


JURNAL
Teori
dan Aplikasi
Fisika



Gambar 6. hal 180

JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika
ISSN 2303-016X, Volume 09, Nomor 02, Juli 2021

PENANGGUNG JAWAB

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA)
Universitas Lampung

PIMPINAN REDAKSI

Junaidi

DEWAN REDAKSI

Gurum Ahmad Pauzi
Leni Rumiyantri
Ronyus Marjunus
Agus Riyanto
Donni Kis Apriyanto
Iqbal Firdaus
Humairoh Ratu Ayu
Amilia Rasitiani

MITRA BESTARI

Warsito (UNILA)
Dwi Asmi (UNILA)
Zulaini Supangat (UNIVERSITAS OF MALAYA)
Yanti Yulianti (UNILA)
Zarina Aspanut (UNIVERSITAS OF MALAYA)
Posman Manurung (UNILA)
Jatmiko Endro Suseno (UNDIP)
Simon Sembiring (UNILA)
Mitrayana (UGM)

ALAMAT REDAKSI

Jurusan Fisika, Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung
Telp. 0721-701609 Ext. 719 Fax. 0721-704625
Email: jtaf@fmipa.unila.ac.id
<http://jurnal.fmipa.unila.ac.id/jtaf/>

Jurnal ini diterbitkan oleh Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung bekerja sama dengan Himpunan Fisika Indonesia Cabang Lampung, sebagai sarana untuk mempublikasikan hasil penelitian, artikel review dari peneliti-peneliti di bidang fisika teori dan aplikasinya. Jurnal ini terbit dua kali setahun (Januari dan Juli), volume pertama terbit pada tahun 2013 dengan nama **Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika (JTAF)** dengan ISSN **2303-016X**.

DAFTAR ISI

	Halaman
Pengaruh Etanolamina Terhadap Pembentukan Fasa, Ukuran Partikel, dan Luas Permukaan Spesifik Nanotitania Menggunakan Metode Sol Gel (Renita Maharani Fauzi, Posman Manurung, Dita Rahmayanti, Yanti Yulianti)	121 – 132
Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Korosi Ekstrak Kulit Pisang Kepok (<i>Musa paradisiaca L</i>) Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Api 5L Pada Suhu Perendaman 40 °C dan 80 °C (Titan Nurahman, Ediman Ginting Suka, dan Leni Rumiyantri)	133 – 142
Rancang Bangun Sistem Hidung Elektronik Berbasis Sensor Gas MQ untuk Mengevaluasi Kualitas Madu (Minarni Shiddiq, Annisa Fadlilah, Sinta Afria Ningsih, dan Ikhsan Rahman Husein)	143 – 152
Pengujian Gugus Fungsi Silika Berbasis Sekam Padi Dengan Variasi Suhu & Konsentrasi <i>Cetyltrimethylammonium Bromide</i> Sebagai Bahan Baku <i>Mesoporous Silica</i> (Leni Rumiyantri, Catur Destiana, Ria Oktaviani, Simon Sembiring, Syafriadi, dan Ni Luh Gede Ratna Juliasih)	153 – 158
Penentuan Titik Pengamatan Optimal Terhadap Kualitas Udara pada Gas Keluaran Diffuser Berbasis Internet of Things (Irmayatul Hikmah, Afifah Dwi Ramadhanidan Fikra Titan Syifa)	159 – 166
Aplikasi Sensor TGS2620 dan MQ138 untuk Mendeteksi Kematangan Buah Durian Berbasis Raspberry Pi 3B (Dewi Puspitasari, Arif Surtono Sri Wahyu Suciati, Gurum Ahmad Pauzi)	167 – 174
Pengujian Prototipe Instrumen Pengukur Gradien Termal di Lapangan Panas Bumi Padang Cermin Pesawaran (Karyanto dan I Gede Boy Darmawan)	175 – 184
Gempa Bumi : Hubungan Data Sensor MAG3110 dengan Data Sensor ADXL345 Berbasis IoT (Dodi Yudo Setyawan, Nurfiiana, Lia Rosmalia, Melia Gripin Setiawati)	185 – 196
Perancangan Sistem Estimasi Intensitas Gempabumi Untuk Peringatan Dini (Trismahargyono, Sri Ratna Sulistiyanti, Roniyus Marjunus)	197 – 202

	Halaman
Sintesis Magnesium Oksida (MgO) dari Dolomit Bangkalan dengan Metode Leaching (Devi Saputri, Lydia Rohmawati)	203 – 210
Sintesis Soluble Polianilin dengan Variasi Jenis dan Konsentrasi Dopan (Retno Fitri Wulandari ¹ , Nugrahani Primary Putri)	211 – 220
Pengaruh Medan Listrik sebagai Stimulan Pertumbuhan Bawang Putih Lokal Timor (Gede Arya Wiguna, Welsiliana, Florian Mayesti Prima R. Makin dan Ite Morina Yostianti Tnunay)	221 – 228
Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Sapu-Sapu (<i>Hypostomus plecostomus</i>) dengan Metode Presipitasi (Sri Maulidiyah Mangkuasih, Lydia Rohmawati)	229 – 236
Delineasi Patahan di Pulau Weh sebagai Perpanjangan The Great Sumatran Fault (GSF) Berdasarkan Data Metode Geomagnetik (Afrahun Naziah, Nazli Ismail, Nasrullah Zaini, dan Muhammad Nanda)	237 – 244
Desain Pengendali Fractional Order PID () Dengan Metode A Modified ZN untuk Pengendalian Level Air pada Pressurized Water Reactor (PWR) (Rissa Damayanti, Abdul Halim)	245 – 258

Perancangan Sistem Estimasi Intensitas Gempabumi Untuk Peringatan Dini

Trismahargyono⁽¹⁾, Sri Ratna Sulistiyanti⁽²⁾, Roniyus Marjunus⁽³⁾

Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141

Email: ⁽¹⁾trixmoslem@gmail.com, ⁽²⁾sr_sulistiyanti@eng.unila.ac.id., ⁽³⁾roniyus@unila.ac.id

Diterima (08 Mei 2021), Direvisi (22 Juli 2021)

Abstract. Indonesia is located at the junction of three tectonic plates and has many active faults. The consequence of this tectonic arrangement makes Indonesia prone to earthquakes. Therefore, earthquake mitigation efforts based on an early warning system need to be done. The design of an earthquake strength estimation system, based on python, for this early warning, analyzes the initial phase of the first three seconds since the arrival of the P wave, using parameters in the form of P_d (the maximum amplitude of the first three seconds of the arrival of the P wave). The resulting tools and systems consist of hardware in the form of Raspberry Pi3B + and ADXL345. The system will detect in real time and automatically trigger an earthquake using the STA / LTA method. When the P_d and T_d parameters have been obtained, the system will calculate and issue earthquake strength information, in the form of magnitude and intensity scale of earthquake damage MMI (Modified Mercally Intensity), which will then be sent automatically via the telegram application. Testing of tools and systems was carried out in an earthquake simulator, using the Padang earthquake parameters on 30 September 2009, 17:16:09 WIB. The results of the test produce an intensity scale of VIII MMI, these results are close to the results of the BMKG for the earthquake, with an intensity scale of VIII MMI. From these results the designed tools and systems can be used to provide early warning in the event of an earthquake.

Keywords: three seconds, earthquake, early warning.

Abstrak. Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik dan memiliki banyak sesar aktif. Konsekuensi dari tatanan tektonik ini membuat Indonesia rawan gempabumi. Oleh karena itu upaya mitigasi bencana gempabumi berbasis sistem peringatan dini perlu dilakukan. Perancangan sistem estimasi kekuatan gempabumi berbasis *python* untuk peringatan dini ini menganalisis fase awal tiga detik pertama sejak kedatangan gelombang P, dengan menggunakan parameter berupa P_d (amplitudo maximum tiga detik pertama dari kedatangan gelombang P). Alat dan sistem yang dihasilkan terdiri dari perangkat keras berupa Raspberry Pi3B+ dan ADXL345. Sistem akan mendeteksi secara *real time* dan otomatis adanya *trigger* gempabumi dengan metode STA/LTA. Ketika parameter P_d diperoleh, sistem akan mengkalkulasi dan mengeluarkan informasi kekuatan gempabumi berupa skala intensitas kerusakan gempabumi MMI (*Modified Mercally Intensity*). Pengujian alat dan sistem dilakukan di simulator gempabumi, dengan menggunakan parameter gempabumi Padang 30 September 2009, pukul 17:16:09 WIB. Hasil dari pengujian menghasilkan skala intensitas VIII MMI, hasil tersebut mendekati hasil dari BMKG untuk gempa tersebut dengan skala intensitas VIII MMI. Dari hasil tersebut alat dan sistem yang dirancang dapat dimanfaatkan untuk memberikan peringatan dini jika terjadi gempabumi.

Kata kunci: tiga detik, gempabumi, peringatan dini.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah rawan gempa bumi, bahkan rawan terhadap bencana tsunami. Kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi tiap tahun akan terus bertambah seiring dengan penambahan populasi manusia. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem peringatan dini. Indonesia telah memiliki sistem peringatan dini tsunami yang dikenal sebagai Indonesia *Tsunami Early Warning System* (InaTews). InaTews adalah sistem peringatan dini yang bertujuan untuk memberikan informasi ancaman tsunami yang akan melanda daerah Indonesia dengan waktu peringatan diberikan lima menit setelah kejadian gempa bumi [1]

Namun saat ini di Indonesia belum dibangun sistem yang memberikan peringatan dini gempa bumi yang sedang terjadi sebagai dasar untuk melakukan antisipasi dini sebelum efek dari kerusakan gempa bumi itu dirasakan disuatu wilayah, yang sering disebut Sistem Peringatan Dini Gempabumi (SPDG). Oleh karena itu dibutuhkan kajian yang bisa memberikan sinyal dini akan terjadinya bencana gempa bumi sehingga pemerintah dan masyarakat bisa mengambil langkah-langkah untuk menghadapi bencana tersebut sebelum terjadi, hal ini bisa menekan dan meminimalisir jatuhnya korban serta kerusakan infrastruktur. SPDG akan mendiseminasikan informasi estimasi skala kerusakan Intensitas gempa bumi sebelum kedatangan getaran gempa bumi yang merusak. Getaran gempa bumi yang merusak tersebut adalah gelombang S dan gelombang permukaan. Rangkaian gelombang gempa bumi akan datang berturut-turut dari yang tercepat hingga yang terlambat yaitu gelombang P, gelombang S dan gelombang permukaan[2][3][4].

Penelitian ini dimaksud untuk merancang SPDG berbasis bahasa pemrograman *Python* menggunakan fase tiga detik pertama gelombang P pada gempa yang terjadi. Kemudian sistem akan menganalisa secara otomatis untuk menghasilkan nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) kemudian mengkonversinya menjadi skala Intensitas MMI.

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan menganalisis SPDG yang dapat memberikan secara cepat informasi estimasi skala Intensitas kerusakan gempa bumi MMI. Informasi kekuatan gempa bumi tersebut diperoleh dari hubungan parameter tiga detik awal kedatangan gelombang P berupa P_d (amplitudo maximum tiga detik pertama dari kedatangan gelombang P). Perhitungan estimasi kekuatan gempa bumi secara cepat tersebut diharapkan dapat dimanfaatkan masyarakat agar lebih cepat melakukan mitigasi jika terjadi gempa bumi.

METODE PENELITIAN

Alur metode dalam penelitian ini digambarkan pada **Gambar 1**. Dalam penelitian ini digunakan data sinyal percepatan, komponen vertikal dari sensor percepatan ADXL345, data itu secara otomatis masuk ke sistem pengolahan berbasis *python*. Selanjutnya sinyal difilter untuk menghilangkan *noise* atau gangguan akibat pengaruh selain dari sinyal asli gempa bumi yang sedang terjadi.

Jika ada trigger gempa bumi pada sinyal maka sistem akan otomatis mem-*pick* gelombang P dengan metode STA/LTA. Pada proses deteksi gelombang P ini apabila proses perhitungan rasio (ϵ), STA dengan LTA lebih besar dari nilai ambang yang diberikan pengguna ($\epsilon >$ nilai ambang), maka akan ditampilkan hasil deteksi otomatis gelombang P berupa waktu tiba gelombang P. Dalam penelitian ini

diberikan nilai ambang 1,5 untuk mengindikasikan adanya *trigger* gempabumi, rumus STA/LTA dapat ditulis dengan **Persamaan 1, 2 dan 3** berikut :

$$\varepsilon = \frac{STA_j}{LTA_j} \quad (1)$$

dengan

$$STA(t) = \sum_{j=0}^{s-1} |w(t-j)| \cdot \frac{1}{s} \quad (2)$$

$$LTA(t) = \sum_{j=0}^{L-1} |w(t-j)| \cdot \frac{1}{L} \quad (3)$$

dengan ε adalah rasio *STA* dengan *LTA*, s panjang waktu *STA* dalam detik dan L panjang waktu *LTA* dalam detik.

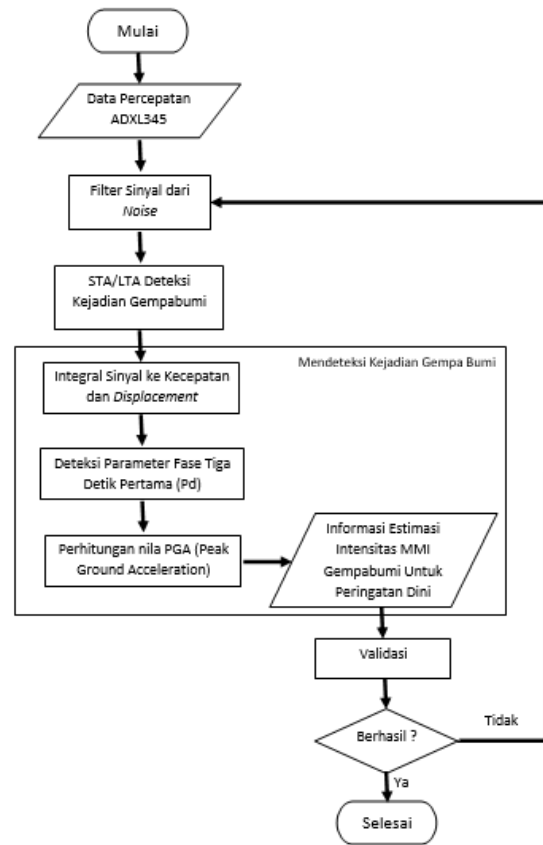
Tahap berikutnya sinyal akan diintegrasikan dari percepatan ke kecepatan dan *displacement*. Setelah diperoleh sinyal *displacement* kemudian dilakukan deteksi otomatis oleh sistem untuk memperoleh nilai parameter fase tiga detik pertama yaitu nilai amplitudo max pada fase awal 3 detik pertama (P_d).

Nilai P_d kemudian dimasukkan ke persamaan peringatan dini gempabumi untuk memperoleh estimasi nilai *PGA* yang kemudian dikonversi ke skala intensitas kerusakan gempabumi *MMI*. Dalam penelitian ini digunakan **Persamaan 4** yang merupakan persamaan Peringatan Dini Gempabumi (*PDG*) untuk wilayah Jawa Barat [2], [3].

$$\log(PGA) = 1.117 \log(P_d) + 0.441 \quad (4)$$

dengan *PGA* nilai percepatan maksimum akibat gempa (cm/s^2) dan P_d merupakan amplitudo maksimum dari tiga detik pertama gelombang *P*.

Penelitian ini divalidasi dengan menggunakan simulator gempabumi di *BMKG*.

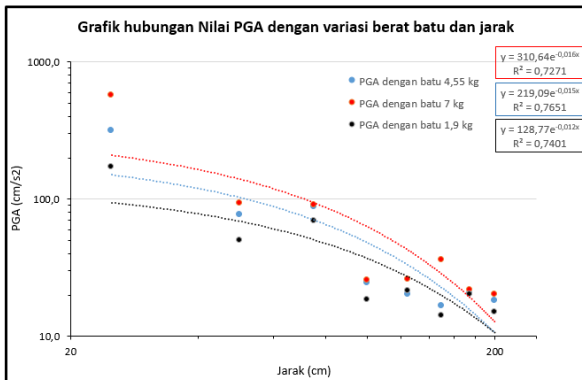


Gambar 1. Alur metode penelitian.

Rancangan *SPDG* akan diletakkan di dalam simulator gempa kemudian dilakukan pengujian terhadap sistem dan hasil yang diperoleh akan didokumentasikan. Setelah diperoleh estimasi intensitas *MMI* gempa dari hasil rancangan *SPDG*, kemudian dibandingkan dengan parameter gempabumi dari simulator gempa. Informasi intensitas *MMI* gempabumi dari rancangan *SPDG* diharapkan mendekati intensitas *MMI* dari simulator gempa. **Gambar 1** menunjukkan diagram alir metode penelitian yang dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengujian laboratorium sistem diuji dengan menjatuhkan beban berupa batu dengan berat bervariasi dari jarak yang berbeda untuk melihat respon dari sistem.



Gambar 2. Grafik PGA dengan variasi berat dan jarak.

Gambar 2 merupakan grafik hubungan PGA dengan jarak menjatuhkan beban batu, untuk berat uji batu yang berbeda, grafik tersebut ditampilkan dalam skala logaritmik. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa jarak dengan nilai PGA memiliki hubungan perbandingan terbalik, semakin jauh jarak pengujian menjatuhkan beban semakin kecil nilai PGA yang dihasilkan oleh alat. Begitupun dengan variasi berat beban yang mewakili variasi magnitude dimana semakin berat beban semakin besar nilai PGA[5].

Kemudian dilakukan pengujian dengan simulator gempa bumi untuk melihat performa keseluruhan sistem. Pengujian kali ini dengan menggunakan parameter gempa bumi Padang tanggal 30 September 2009. Pada Tabel 1 ditunjukkan parameter dari gempa bumi Padang 2009.

Tabel 1. Parameter gempa bumi Padang.

Parameter Gempabumi Padang 30 September 2009	
Tanggal	30-09-2009
OT	17:16:09 WIB
Lokasi	0.84 LS - 99.65 BT
Kedalaman	71 Km
Magnitudo	7.9
Intensitas (MMI)	VIII MMI di Padang

03_data3s_displacement - Notepad

```

File Edit Format View Help
On: 2020-11-06 11:04:48
Pd: 9.05150308395
Td: 1.8
Mag: 6.8
Pga: 32.33382
MMI: VIII MMI
    
```

Gambar 3. Hasil analisa sistem.

Setelah sistem mendeteksi terjadinya gempa bumi, maka sistem akan mengkalkulasi kekuatan gempa bumi tersebut. Hasil analisa sistem terhadap simulasi gempa bumi Padang ditunjukkan pada Gambar 3.

Ada beberapa parameter yang terbentuk didalam parameter tersebut yaitu:

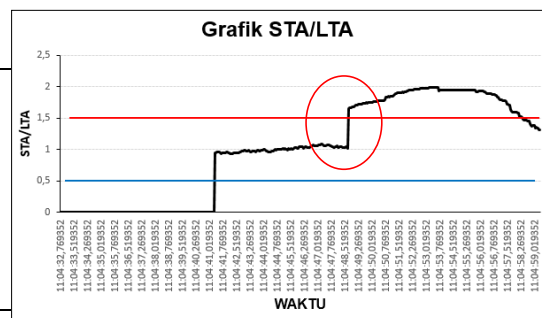
1. On: 2020-11-06 11:04:48

Merupakan hasil analisis sitem dengan *STA/LTA* yang mengindikasikan terjadinya *trigger*. Dapat dilihat pada Gambar 4 hasil grafik *STA/LTA* dan posisi dimana *trigger* mulai naik melebihi ambang batas 1,5.

2. Pa: 9.05150308935 cm

Nilai ini menunjukkan amplitudo maximum dari tiga detik pertama gelombang P, pada komponen *displacement* yang dicatat sistem bernilai 9.05150308935 cm. Setelah diperoleh nilai ini dilakukan kalkulasi untuk memperoleh nilai estimasi *PGA* (*Peak Ground Acceleration*) secara cepat dalam waktu tiga detik setelah terjadinya gempa bumi. Proses kalkulasinya dengan memasukkan nilai tersebut kedalam

Persamaan 1.



Gambar 4. Grafik STA/LTA.

3. Pga: 32.33382 cm/s²

Hasil kalkulasi sistem terhadap simulasi gempabumi Padang tersebut menghasilkan estimasi *PGA* (*Peak Ground Acceleration*) bernilai 32.33382 cm/s².

4. MMI: VIII MMI

Setelah nilai *PGA* diperoleh kemudian dikonversi ke dalam skala MMI. Nilai tersebut merupakan nilai estimasi intensitas MMI atau kerusakan akibat simulasi gempabumi Padang tersebut dimana hasil analisa sistem menunjukkan nilai dengan skala VIII MMI.

Langkah pengujian berikutnya dengan membandingkan estimasi kekuatan simulasi gempabumi Padang hasil analisa sistem penelitian ini dengan nilai kekuatan sebenarnya dari gempabumi Padang tersebut. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Perbandingan SPDG dan BMKG

	Sistem	BMKG
Intensitas (MMI)	VIII	VIII

Sistem yang dibuat dalam penelitian ini jika dilihat pada **Tabel 3**, nilai estimasi intensitas MMI gempabumi yang dikeluarkan mendekati nilai sebenarnya. Dengan proses perhitungan yang cepat dalam waktu tiga detik dari kejadian gempa dan hasil estimasi kekuatan gempabumi yang mendekati kekuatan gempabumi sebenarnya, maka sistem ini baik dimanfaatkan dalam usaha memberikan estimasi kekuatan gempabumi secara cepat sebagai upaya mitigasi dalam menghadapi bahaya gempabumi.

KESIMPULAN

Perancangan sistem estimasi intensitas gempabumi secara cepat untuk peringatan dini berbasis python dapat bekerja dengan cukup baik dalam mengestimasi kekuatan gempabumi.

Dengan memanfaatkan waktu dari 3 (tiga) detik pertama sejak kedatangan gelombang P gempabumi, sistem dapat memberikan estimasi intensitas gempabumi yang dapat dimanfaatkan sebagai informasi peringatan dini dalam upaya mitigasi terhadap bahaya gempabumi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, “Pedoman Pelayanan Peringatan Dini Tsunami,” *Buku Pedoman Pelayanan Peringatan Dini Tsunami Ina. – Ed. Kedua*, pp. 1–158, 2012.

[2] H. Gunawan, N. T. Puspito, G. Ibrahim, and P. Harjadi, “Development of earthquake early warning system using real time signal of Broadband seismogram,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 1454, no. 1, pp. 134–137, 2011, doi: 10.1063/1.4730705.

[3] Hendar Gunawan, Nanang T. Puspito, Gunawan Ibrahim, and Prih. Harjadi, “Analysis the First Arrival of P-Wave of Ina-TEWS and CTBT Stations to Support Earthquake Early Warning,” *J. Civ. Eng. Archit.*, vol. 7, no. 6, pp. 746–755, 2013, doi: 10.17265/1934-7359/2013.06.012.

[4] P. Bormann, “Aim and Scope of the IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP),” *IASPEI New Man. Seismol. Obs. Pract.*, pp. 1–18, 1970, [Online]. Available: ftp://ftp.ingv.it/pub/elisabetta.danastasio/grot/manual_seismological_observatory-2002.pdf.

[5] Urban Rafael, “Seismic hazard and vulnerability assessment in Turrialba, Costa Rica,” *Geo-Information Sci.*, no. March, p. 98, 2002.

[6] J. Akram and D. W. Eaton, “Adaptive microseismic event

- detection and automatic time picking,” *Geo Conv.*, pp. 1–5, 2012, [Online]. Available: http://www.cspg.org/documents/Conventions/Archives/Annual/2012/279_GC2012_Adaptive_Microseismic_Event_Detection.pdf.
- [7] H. Kanamori, “Real-time seismology and earthquake damage mitigation,” *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, vol. 33, pp. 195–214, 2005, doi: 10.1146/annurev.earth.33.092203.122626.
- [8] A. Lomax, “Rapid estimation of rupture extent for large earthquakes: Application to the 2004, M9 Sumatra-Andaman mega-thrust,” *Geophys. Res. Lett.*, vol. 32, no. 10, pp. 1–4, 2005, doi: 10.1029/2005GL022437.
- [9] A. Lomax and A. Michelini, “Mwpd: A duration-amplitude procedure for rapid determination of earthquake magnitude and tsunamigenic potential from P waveforms,” *Geophys. J. Int.*, vol. 176, no. 1, pp. 200–214, 2009, doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03974.x.
- [10] R. Musson, “Intensity and Intensity Scales,” *New Man. Seismol. Obs. Pract.* 2, pp. 1–41, 2012, doi: 10.2312/GFZ.NMSOP-2.
- [11] M. Muzli, “Hubungan Kecepatan Relatif Pergerakan Lempeng Dengan Tingkat Seismisitas Di Zona Subduksi,” *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 15, no. 3, pp. 187–192, 2014, doi: 10.31172/jmg.v15i3.220.
- [12] Y. Nakamura, “First actual P-wave alarm systems and examples of disaster prevention by them,” *14th World Conf. Earthq. Eng.*, 2008.
- [13] S. E. J. Nippres, A. Rietbrock, and A. E. Heath, “Optimized automatic pickers: Application to the ANCORP data set,” *Geophys. J. Int.*, vol. 181, no. 2, pp. 911–925, 2010, doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04531.x.
- [14] C. Satriano, Y. M. Wu, A. Zollo, and H. Kanamori, “Earthquake early warning: Concepts, methods and physical grounds,” *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 31, no. 2, pp. 106–118, 2011, doi: 10.1016/j.soildyn.2010.07.007.
- [15] I. Tirta and R. Wiryadinata, “Signal Conditioning Test for Low-Cost Navigation Sensor,” *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 1, no. 1, p. 30, 2016, doi: 10.36055/setrum.v1i1.471.
- [16] J. Zschau, P. Gasparini, and G. Papadopoulos, “Seismic Early Warning for Europe Final Report,” p. 74, 2009.
- [17] Y. M. Wu and L. Zhao, “Magnitude estimation using the first three seconds P-wave amplitude in earthquake early warning,” *Geophys. Res. Lett.*, vol. 33, no. 16, pp. 4–7, 2006, doi: 10.1029/2006GL026871.
- [18] Y. M. Wu, H. Kanamori, R. M. Allen, and E. Hauksson, “Determination of earthquake early warning parameters, τ_c and P_d , for southern California,” *Geophys. J. Int.*, vol. 170, no. 2, pp. 711–717, 2007, doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03430.x.
- [19] Y. M. Wu and H. Kanamori, “Rapid assessment of damage potential of earthquakes in Taiwan from the Beginning of P waves,” *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 95, no. 3, pp. 1181–1185, 2005, doi: 10.1785/0120040193.
- [20] J. Wong, L. Han, J. C. Bancroft, and R. R. Stewart, “Automatic time-picking of first arrivals on noisy microseismic data,” *Cseg*, pp. 1–6, 2009.