

Analisis Bahaya Gempa Bumi Menggunakan Metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* Sebagai Upaya Mitigasi di Wilayah Kota Jayapura

¹Armansyah, ²Rian Mahendra Taruna, ³Nurul Puspitasari, ⁴Alfred Antoh, ⁵Basa Rumahorbo

^{1,3}Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah V Jayapura, ²Stasiun Geofisika Mataram, ^{4,5}Universitas Cenderawasih
arhie.syah@gmail.com

Abstrak – Kota Jayapura berada di daerah Provinsi Papua memiliki aktivitas tektonik yang tinggi karena terletak diantara pertemuan Lempeng Pasifik dan Lempeng Indo-Australia sehingga memicu terjadinya gempa bumi. Penelitian ini menjadi sangat menarik disebabkan karena analisis bahaya gempa bumi bertujuan menghitung nilai percepatan tanah pada frekuensi 0 Hz (PGA), 1 Hz (frekuensi rendah) dan 5 Hz (frekuensi tinggi) dengan kriteria probabilitas terlampaui 2% dalam kurun waktu 50 tahun merujuk pada SNI 1726:2012 di wilayah Kota Jayapura. Nilai percepatan tanah pada beberapa frekuensi tersebut dapat dimanfaatkan untuk merancang pembangunan infrastruktur yang tahan gempa bumi serta penataan tata ruang kota dalam rangka upaya mitigasi gempa bumi. Data gempa bumi bersumber dari BBMKG Wilayah V Jayapura dan USGS selama periode tahun 1917 sampai 2019 dengan magnitudo $M \geq 4,5$. Metode penelitian yang digunakan adalah *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* yang diolah menggunakan perangkat lunak USGS-PSHA 2007. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai percepatan tanah di wilayah Kota Jayapura antara 2 g – 3,75 g untuk frekuensi 0 Hz (PGA), 1,3 g – 1,75 g untuk frekuensi 1 Hz (frekuensi rendah) dan 3,7 g – 3,8 g untuk frekuensi 5 Hz (frekuensi tinggi). Berdasarkan hasil analisis, nilai percepatan tanah yang tinggi didominasi oleh sumber gempa patahan (fault) bersesuaian dengan tektonik Kota Jayapura yang memiliki banyak struktur patahan di daratan.

Kata kunci: Gempa Bumi, Mitigasi, Patahan, Percepatan Tanah

Abstract – Jayapura City within Papua Province has high tectonic activity because it lies between Pacific Plate and Indo-Australia Plate that trigger an earthquake. This research be really interesting because analysis seismic hazard aims to calculate value of ground acceleration at frequency 0 Hz (PGA), 1 Hz (low frequency) and 5 Hz (high frequency) with criteria probability exceeded 2% in 50 years refers to SNI 1726:2012 in Jayapura City region. The value of ground acceleration at some frequencies can be used to design earthquake resistant infrastructure development as well as urban spatial planning in the context of earthquake mitigation efforts. The Earthquake data is sourced from BBMKG Region V Jayapura and USGS for period 1917 to 2019 with magnitude $M \geq 4,5$. The research method is *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* which is processed using USGS-PSHA 2007 software. The results of analysis shows that the value of ground acceleration in Jayapura City region is between 2 g – 3,75 g for 0 Hz frequency (PGA), 1,3 g – 1,75 g for 1 Hz frequency (low frequency) and 3,7 g – 3,8 g for 5 Hz frequency (high frequency). Based on the results of analysis, high value of ground acceleration is dominated by fault earthquake source which corresponds to tectonic of Jayapura City which has so many fault structures on the mainland.

Key words: Earthquake, Mitigation, Fault, Ground Acceleration

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri dari 17.504 pulau memiliki pengalaman atas banyaknya kejadian gempa bumi di masa silam [1]. Kenyataan ini tentu saja tidak terlepas dari letak wilayah Indonesia yang berada di daerah tektonik aktif diantara Lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik dan Mikro Filipina. Akibat pertemuan lempeng tektonik tersebut menyebabkan terbentuknya struktur patahan zona subduksi dan patahan lokal yang menjadi sumber gempa bumi [2].

Kejadian gempa bumi merupakan kejadian alam yang tidak dapat dihindari, memiliki potensi merusak infrastruktur, tatanan lingkungan serta menimbulkan jatuhnya korban jiwa [3]. Sehingga perlu dilakukan berbagai upaya untuk mengantisipasi dampak akibat gempa bumi.

Kota Jayapura merupakan salah satu kota yang terletak di bagian paling timur Indonesia di dalam wilayah administrasi

Provinsi Papua. Kota yang saat ini sedang tumbuh dan berkembang terutama dalam sektor pembangunan perlu memperhatikan kondisi kegempaan akibat aktivitas tektonik disekitarnya. Kajian gempa bumi sangat penting dilakukan dalam rangka upaya mendukung kegiatan pembangunan, penataan tata ruang serta melakukan upaya mitigasi untuk meminimalisir dampak kerugian bahkan mencegah jatuhnya korban jiwa.

Salah satu upaya mitigasi dalam sektor pembangunan adalah merancang dan membuat bangunan yang tahan gempa bumi. Bangunan tahan gempa bumi harus mempertimbangkan nilai percepatan tanah di suatu wilayah yang salah satunya dapat diketahui melalui kajian probabilistik [4]. Oleh karena itu, maka pada penelitian ini mengkaji potensi bahaya gempa bumi melalui nilai percepatan tanah dengan metode probabilistik di wilayah Kota Jayapura sebagai upaya mitigasi gempa bumi.

II. LANDASAN TEORI

A. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya permukaan tanah karena adanya pelepasan energi ke segala arah akibat dari pergerakan massa batuan di lapisan kerak bumi [5]. Gempa bumi memiliki parameter gempa bumi seperti waktu kejadian, lokasi pusat gempa bumi, kedalaman dan magnitudo.

Lokasi pusat gempa bumi memiliki koordinat lintang dan bujur yang diproyeksikan ke permukaan bumi disebut episenter. Pusat gempa bumi dengan koordinat lintang, bujur dan kedalaman di bawah permukaan bumi disebut hiposenter. Kedalaman gempa bumi adalah jarak antara hiposenter dan permukaan bumi dinyatakan dengan satuan kilometer. Kedalaman gempa bumi dibagi menjadi tiga jenis yaitu dangkal ($D < 70$ km), menengah ($70 \leq D < 300$ km) dan dalam ($D \geq 300$ km).

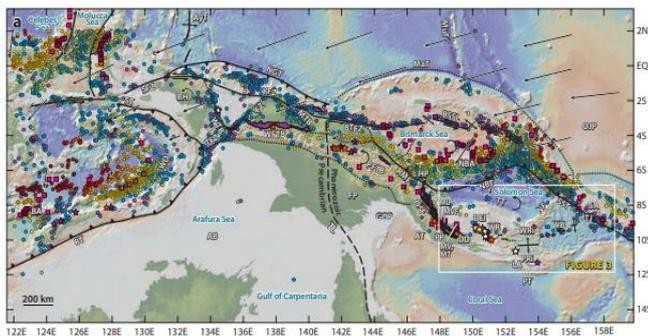
Magnitudo adalah ukuran seberapa besar kekuatan gempa bumi yang merepresentasikan besarnya akumulasi energi seismik yang dilepaskan dari sumber [6]. Semakin besar magnitudo gempa bumi maka semakin besar energi gempa bumi yang dilepaskan, sedangkan semakin kecil magnitudo gempa bumi maka semakin kecil pula energi yang dilepaskan dari sumber gempa bumi.

Dampak gempa bumi secara umum dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada struktur bangunan, menimbulkan korban jiwa, menyebabkan rasa takut dan panik, serta memicu terjadinya penyakit akibat kerusakan sanitasi seperti disentri dan malaria [9].

B. Kondisi Tektonik Kota Jayapura

Kota Jayapura terletak di wilayah pesisir utara Pulau Papua, berada pada daerah pertemuan Lempeng Pasifik dan Indo-Australia yang memiliki arah pergerakan barat-barat daya dengan kecepatan 110 mm/tahun [7]. Akibat dari pergerakan tatanan tektonik tersebut, pada Gambar.1 terbentuk pola patahan *strike-slip* mengiri di sepanjang tepi utara Pulau Papua yang bergerak dengan kecepatan 15 mm/tahun [8].

Adanya pergerakan subduksi lempeng tektonik dan pola patahan mendatar menyebabkan banyak terbentuk patahan-patahan aktif di sekitar wilayah Kota Jayapura. Adanya patahan aktif inilah yang menjadikan gempa bumi terjadi di sekitar wilayah Kota Jayapura. Oleh karena itu, ditinjau dari sumber penyebabnya maka aktivitas gempa bumi yang terjadi di sekitar wilayah Kota Jayapura tergolong gempa bumi tektonik akibat pergerakan patahan di zona subduksi maupun patahan lokal yang berada di darat.



Gambar 1. Kondisi tektonik Pulau Papua [8]

III. METODE PENELITIAN

Tabel 1. Konversi skala magnitudo [10]

No	Korelasi Konversi	Rentang Data	Kesesuaian
1	$MW = 0,143 * MS^2 - 1,051 * MS + 7,285$	$4,5 \leq MS \leq 8,6$	93,9%
2	$MW = 0,114 * mb^2 - 0,556 * mb + 5,560$	$4,9 \leq mb \leq 8,2$	72,0%
3	$MW = 0,787 * ME + 1,537$	$5,2 \leq ME \leq 7,3$	71,2%
4	$Mb = 0,125 * ML^2 - 0,389 * ML + 3,513$	$3,0 < ML < 6,2$	56,1%
5	$ML = 0,717 * MD + 1,003$	$3,0 \leq MD \leq 5,8$	29,1%

A. Daerah dan Data Penelitian

Daerah penelitian dibatasi pada jarak 200 km yang diukur dari pusat Kota Jayapura dengan titik acuan Kantor Walikota Jayapura. Batasan koordinat daerah penelitian yaitu $138,887^\circ - 142,529^\circ$ BT dan $0,715^\circ - 4,344^\circ$ LS.

Dalam penelitian ini, data gempa yang digunakan bersumber dari katalog gempa bumi Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BBMKG) Wilayah V Jayapura tahun 1987-2019 dan *United States of Geological Survey (USGS)* tahun 1917-1986. Secara keseluruhan, data gempa bumi yang digunakan pada penelitian memiliki durasi 103 tahun yaitu 1917-2019.

B. Penyeragaman Skala Magnitudo

Data gempa bumi yang telah dikumpulkan baik dari sumber BBMKG Wilayah V Jayapura dan *USGS* masih memiliki jenis magnitudo yang berbeda-beda. Oleh karena itu maka perlu dilakukan penyeragaman magnitudo agar setiap data gempa bumi memiliki acuan jenis magnitudo yang sama dalam melakukan pengolahan data.

Adapun jenis magnitudo yang digunakan sebagai dasar penyeragaman yaitu Magnitudo momen (M_w). Magnitudo momen digunakan karena skala ukuran gempa bumi pada jenis magnitudo ini dianggap mewakili besarnya energi yang dilepaskan dari bidang patahan [10]. Konversi magnitudo dilakukan dengan merujuk pada perumusan seperti yang terlampir dalam Tabel. 1. Batasan magnitudo yang digunakan pada penelitian adalah gempa bumi $M_w \geq 4,5$ dengan pertimbangan bahwa gempa bumi pada kekuatan tersebut memberikan dampak yang signifikan terhadap getaran di permukaan bumi maupun ketahanan infrastruktur.

C. Analisis Bahaya Gempa Bumi Probabilistik

Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) adalah metode analisis untuk menghitung potensi getaran tanah pada suatu daerah secara probabilistik yang melibatkan ketidakpastian magnitudo, lokasi dan jumlah gempa bumi [4]. Metode *PSHA* yang telah ada terus mengalami perkembangan hingga diformulasikan dengan rumusan sebagai berikut [11] :

$$P [I > i] = \iint P [I \geq i, m, r] * f_M (m) * f_R (r) dm dr \quad (1)$$

Pengolahan data gempa bumi dengan menggunakan metode *PSHA* pada penelitian ini memberikan hasil akhir berupa nilai probabilitas total percepatan tanah yang memenuhi kriteria terlampaui 2% dalam 50 tahun. Kriteria

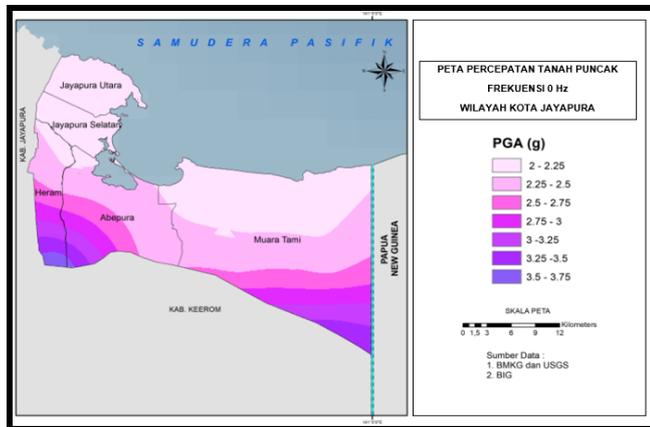
ini sesuai dengan aturan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 1726:2012 terkait perencanaan struktur bangunan gedung dan non-gedung yang tahan gempa bumi.

Salah satu bagian penting dalam analisis PSHA adalah penggunaan persamaan atenuasi [12]. Saat ini persamaan atenuasi khusus untuk wilayah Kota Jayapura relatif sedikit, sehingga digunakan persamaan atenuasi yang sudah ada untuk daerah lain dengan mempertimbangkan kesamaan karakter geologi. Dalam penelitian ini persamaan atenuasi yang digunakan mengacu kepada Peta Gempa Indonesia 2010 [10].

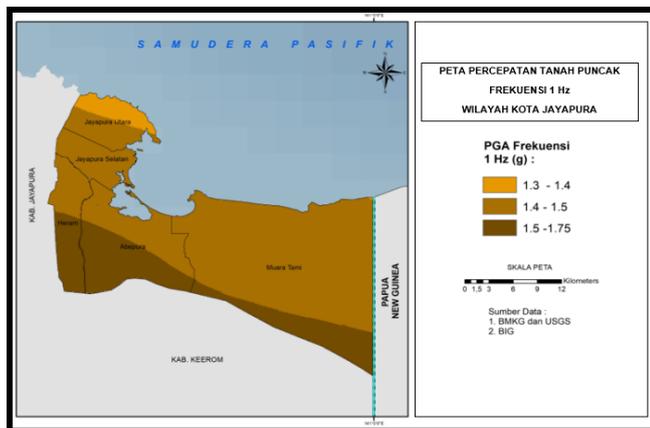
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis pada penelitian ini menghasilkan besaran nilai percepatan tanah pada frekuensi 0 Hz (Peak Ground Acceleration/PGA), frekuensi 1 Hz (frekuensi rendah) dan frekuensi 5 Hz (frekuensi tinggi). Setiap nilai percepatan tanah pada masing-masing frekuensi menggunakan kriteria probabilitas terlampaui 2% dalam waktu 50 tahun.

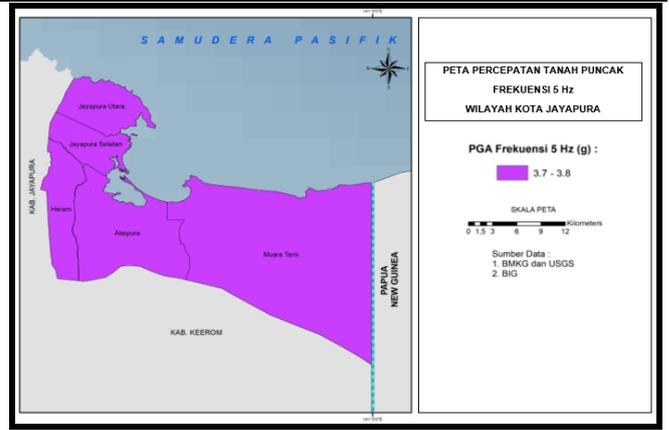
Kelebihan pada penelitian ini adalah data gempa bumi yang digunakan pada proses pengolahan data menjadi lebih lengkap karena memiliki durasi 103 tahun, yaitu antara tahun 1917-2019. Sehingga kejadian gempa bumi besar yang pernah terjadi di dalam batasan wilayah selama periode tersebut telah dilibatkan dalam proses analisis data.



Gambar 2. Peta percepatan tanah puncak frekuensi 0 Hz (PGA) di wilayah Kota Jayapura



Gambar 3. Peta percepatan tanah puncak frekuensi 1 Hz di wilayah Kota Jayapura



Gambar 4. Peta percepatan tanah puncak frekuensi 5 Hz di wilayah Kota Jayapura

Adapun data yang tidak dilibatkan pada penelitian ini yaitu kejadian gempa bumi yang terjadi di luar rentang batasan wilayah dan periode data penelitian sehingga perlu adanya penelitian lanjutan secara berkala untuk mengikuti perkembangan riwayat gempa bumi terbaru di waktu yang akan datang.

Nilai percepatan tanah hasil analisis telah memperhitungkan variasi kejadian dan sumber gempa bumi menggunakan skenario terburuk untuk kemungkinan terjadi 1 kali dalam 2.475 tahun [13]. Sehingga nantinya infrastruktur yang dibangun dengan memperhitungkan nilai percepatan tanah berdasarkan hasil penelitian ini mampu bertahan terhadap guncangan gempa bumi yang bersumber dari sekitar wilayah Kota Jayapura.

Nilai percepatan tanah hasil analisis pada masing-masing frekuensi selanjutnya dipetakan pada wilayah Kota Jayapura dengan mencantumkan batasan wilayah tingkat distrik. Terdapat 5 distrik di wilayah Kota Jayapura yaitu Jayapura Utara, Jayapura Selatan, Heram, Abepura dan Muara Tami. Semakin besar nilai percepatan tanah di suatu wilayah mengindikasikan semakin besar potensi bahaya atau dampak akibat gempa bumi dan begitu pula sebaliknya.

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, pada Gambar. 2 menunjukkan nilai percepatan tanah pada frekuensi 0 Hz (PGA) memiliki rentang nilai antara 2 g – 3,75 g. Wilayah distrik dengan nilai percepatan tanah puncak (PGA) yang tertinggi berada pada sebelah selatan Distrik Heram, Abepura dan Muara Tami dengan nilai antara 3,25 g – 3,75 g. Sedangkan wilayah distrik dengan nilai percepatan tanah puncak terendah berada di wilayah Distrik Jayapura Utara, Jayapura Selatan, serta pada bagian utara Distrik Heram, Abepura dan Muara Tami dengan nilai antara 2 g – 2,5 g.

Pada Gambar.3 untuk frekuensi 1 Hz (frekuensi rendah), nilai percepatan tanah bervariasi antara 1,3 g – 1,75 g. Wilayah distrik dengan nilai percepatan tanah tertinggi pada frekuensi ini yaitu bagian selatan Distrik Heram, Abepura dan Muara Tami dengan nilai antara 1,5 g – 1,75 g. Adapun wilayah distrik dengan nilai percepatan tanah terendah pada frekuensi 1 Hz berada pada bagian utara Distrik Jayapura Utara dengan nilai antara 1,3 g – 1,4 g.

Pada Gambar.4 untuk frekuensi 5 Hz (frekuensi tinggi), percepatan tanah memiliki sebaran nilai yang merata di semua distrik wilayah Kota Jayapura. Nilai percepatan tanah pada frekuensi 5 Hz yaitu 3,7 g – 3,8 g.

Jika ditinjau lebih mendalam pada frekuensi 0 Hz dan 1 Hz, gradasi nilai percepatan tanah meningkat dari bagian utara hingga ke bagian selatan wilayah Kota Jayapura. Hal ini mengindikasikan bahwa aktivitas patahan yang berada di darat memberikan kontribusi dampak getaran yang lebih besar terhadap wilayah Kota Jayapura.

Dengan adanya hasil penelitian ini, maka diharapkan dapat mendukung kegiatan pembangunan dan pengaturan tata ruang di wilayah Kota Jayapura. Perencanaan dan kegiatan pembangunan yang dilakukan hendaknya memperhatikan ketahanan infrastruktur terhadap guncangan gempa bumi sehingga dapat meminimalisir kerugian dan mencegah adanya korban jiwa.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh nilai percepatan tanah untuk wilayah Kota Jayapura yang bervariasi pada frekuensi 0 Hz, 1 Hz dan 5 Hz dengan kriteria probabilitas terlampaui 2% dalam waktu 50 tahun. Nilai percepatan tanah yang diperoleh yaitu 2 g – 3,75 g untuk frekuensi 0 Hz, 1,3 g – 1,75 g untuk frekuensi 1 Hz dan 3,7 g – 3,8 g untuk frekuensi 5 Hz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas gempa bumi dari sumber gempa patahan memberikan dampak yang signifikan terhadap variasi nilai percepatan tanah di sekitar wilayah Kota Jayapura. Dengan adanya penelitian ini maka diharapkan dapat memberikan informasi yang dibutuhkan untuk membangun infrastruktur yang tahan terhadap guncangan gempa bumi dalam rangka upaya mitigasi sesuai dengan kondisi kegempaan di sekitar wilayah Kota Jayapura.

PUSTAKA

- [1] Putra, R.R., Kiyono, J., Ono, Y., dan Parajuli, H.R., Seismic Hazard Analysis For Indonesia, *Journal of Natural Disaster Science*, Vol. 33, No.2, 2012, pp. 59-70.
- [2] Susilo, A. dan Adnan, Z., Probabilistic Seismic Hazard Analysis of East Java Region Indonesia, *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, Vol. 5, No.3, 2013.
- [3] Husein, S., Susilanto, P., dan Hardy, T., Bencana Gempa Bumi, *Researcher Gate, Conference Paper*, 2016.
- [4] Prihantono, J., Pasau, G., Purbani, D., Dewi, L.C., dan Bramawanto, R., 2013, Studi Bahaya Guncangan Tanah Menggunakan Metode Probabilistik Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi di Pesisir Provinsi Sumatera Barat, *Jurnal Segara*, Vol. 9, No. 2, 2013, pp. 85-94.
- [5] Sunarjo., Gunawan, M.T., dan Pribadi, S., *Gempa Bumi Edisi Populer*, Puslitbang BMKG, Jakarta, 2012.
- [6] Bormann, P., *IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP) Volume 1*, GFZ, Germany, 2002.
- [7] Demets, C., R.G. Gordon, D.F. Argus dan S. Stein, Effect of Recent to The Geomagnetism Reversal Time Scale on Estimates of Current Plate Motions, *Revisions Geophysical Research Letter*, Vol. 21, 1994, pp. 2191-2194.
- [8] Baldwin, Suzanne L., Fitzgerald, Paul G., dan Webb, Laura E., Tectonics of The New Guinea Region, *Annu.Rev.Earth Planet.Sci.*, Vol. 40, 2012, pp. 495-520.
- [9] Nola, I. A., Earthquakes and Their Environmental, *Medical and Public Health Impacts*, Salud Publica de Mexico, Vol. 60, 2018.
- [10] Irsyam, M., Sengara, I.W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Natawidjadja, D. H., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono, Asrurifak, M., dan Ridwan, M., *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*, Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, Bandung, 2010.
- [11] McGuire, R.K., *Deterministic vs Probabilistic Earthquake Hazards and Risk*, Risk Engineering Inc., 2001.
- [12] Taruna, R.M., Banyunegoro, V.H., Daniarsyad, G., *Peak Ground Acceleration at Surface for Mataram City with a Return Period of 2500 Years using Probabilistic Method*, MATEC Web of Conferences, 195, 2018.
- [13] Sunardi, B., *Peta Deagregasi Hazard Gempa Wilayah Jawa dan Rekomendasi Ground Motion di Empat Daerah*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2013.