

---

# Studi *Site Effect* (Tapak Lokal) Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Ngluwar Kabupaten Magelang Jawa Tengah

Sri Handayani<sup>1\*</sup>, Thaqibul Fikri Niyartama<sup>1</sup>, Nugroho Budi Wibowo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga,

<sup>2</sup> BMKG Kelas I Yogyakarta

\*Email: [yanihandayani115@gmail.com](mailto:yanihandayani115@gmail.com)

## INTISARI

Telah dilakukan penelitian di Kecamatan Ngluwar Kabupaten Magelang Jawa Tengah berdasarkan pengukuran mikrotremor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan amplifikasi tanah ( $A_0$ ). Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui potensi daerah rawan bencana gempabumi berdasarkan studi *site effect* (tapak lokal) dikaji dengan parameter percepatan getaran tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration*, *PGA*), indeks kerentanan seismik (*Kg*), *ground shear strain* (*GSS*) dan ketebalan lapisan sedimen (*h*) yang bermanfaat untuk perencanaan, pengembangan, dan pembangunan yang tahan terhadap getaran gempabumi sehingga dapat meminimalisir resiko saat bencana gempabumi terjadi. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan seismometer tipe TDS-303 pada 41 titik pengukuran dengan jarak antar titik 1000 meter. Data tersebut diolah menggunakan perangkat lunak *Sesarry Geopsy* dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (*HVSR*) untuk mendapatkan frekuensi dominan dan amplifikasi tanah. Perhitungan nilai *PGA* menggunakan persamaan Kanai dan model gempabumi skenario yang digunakan adalah gempabumi dengan sumber sesar lokal (sesar progo) dengan magnitudo 5 dan 6. Nilai *PGA* yang dihasilkan pada magnitudo 5 yaitu 24,94 s.d 126,50 gal sedangkan untuk magnitudo 6 berkisar 101,60 s.d 515,35 gal. Sebaran nilai indeks kerentanan seismik antara 0,87 s.d 58,27. Sebaran nilai *ground shear strain* antara  $0,08 \times 10^{-3}$  s.d  $1,53 \times 10^{-3}$  untuk magnitudo 5 sedangkan untuk magnitudo 6 berkisar  $0,35 \times 10^{-3}$  s.d  $6,26 \times 10^{-3}$ . Ketebalan lapisan sedimen (*h*) antara 7,12 s.d 151,74 meter. Nilai *PGA*, *Kg*, *GSS* dan *h* terbesar berada di Desa Pakunden dan Banjarharjo yang diperkirakan memiliki tingkat resiko besar terhadap bencana gempabumi. Nilai indikator tingkat kerawanan terhadap dampak gempabumi sangat dipengaruhi oleh faktor *site effect* atau kondisi geologi setempat dari suatu daerah sehingga tidak cukup dengan mengukur satu parameter saja.

**Kata Kunci:** Mikrotremor, *HVSR*, *Site Effect*, Kecamatan Ngluwar Kabupaten Magelang

## ABSTRACT

Research has been carried out in Ngluwar District, Magelang Regency, Central Java based on microtremor measurements. This study aims to determine the value of dominant frequency ( $f_0$ ) and soil amplification ( $A_0$ ). This study also aims to determine the potential for earthquake-prone areas based on site effect studies assessed with parameters of peak ground acceleration (PGA), seismic vulnerability index (Kg), ground shear strain (GSS) and layer thickness sediments (h) that are useful for planning, developing, and building that are resistant to earthquake vibrations so can minimize the risk when an earthquake disaster occurs. Data was collected using a seismometer type TDS-303 at 41 measurement points with a distance between points of 1000 meters. The data is processed using *Sesarry Geopsy* software using the *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (*HVSR*) method to obtain ( $f_0$ ) and ( $A_0$ ). The calculation of PGA values using the Kanai equation and scenario earthquake model used is earthquake with a local fault source (fault progo) with magnitudes 5 and 6. The PGA values generated at magnitude 5 are 24,9 to 126,50 gal while for magnitude 6 from 101,60 to 515,35 gal. Distribution of Kg values between 0,87 to 58,27. The distribution of GSS values is between  $0,08 \times 10^{-3}$  to  $1,54 \times 10^{-3}$  for magnitude 5 while for magnitude 6 ranges from  $0,34 \times 10^{-3}$  to  $6,26 \times 10^{-3}$ . The (h) values ranged from 7,12 to 151,74 meters. The largest PGA, Kg, GSS and h values are in the villages of Pakunden and Banjarharjo which estimated have a high level of risk from earthquake disasters. The value of indicator level of vulnerability to the impact of an earthquake is strongly influenced by site effect factors or the local geological conditions of an area so it is not enough to measure just one parameter.

**Keywords:** Microtremor, *HVSR*, *Site Effect*, Ngluwar District, Magelang Regency

## Pendahuluan

Bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam [1]. Indonesia negara yang memiliki potensi bencana yang sangat besar. Bencana ini terjadi karena berbagai sebab antara lain karena wilayah Indonesia berada diantara tiga lempeng besar dunia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng IndoAustralia dan Lempeng Pasifik. Pergerakan lempeng samudera dan benua dalam bentuk tumbukan dan gesekan menimbulkan beberapa zona subduksi dan patahan permukaan. Pergerakan ini membebaskan sejumlah energi yang telah terkumpul sekian lama secara tiba-tiba dimana proses pelepasan tersebut menimbulkan getaran gempa bumi dengan nilai yang beragam [2], peristiwa ini disebut dengan gempa bumi tektonik. Berbagai wilayah di Indonesia pernah mengalami gempa bumi tektonik secara historis di Jawa Tengah pernah terjadi gempa bumi signifikan yang menyebabkan beberapa kerusakan, antara lain yaitu pada tahun 2011 terjadi gempa bumi dengan magnitudo 7,1 dengan pusat gempa di laut 293 km barat daya Cilacap Jawa Tengah. Selain itu pada tahun 2013 juga terjadi gempa bumi dengan magnitudo 4,8 dengan pusat gempa di darat 11 km barat laut Wonosobo yang mengakibatkan 2 orang mengalami luka-luka dan banyak rumah warga yang rusak sedangkan pada tahun 2014 terjadi gempa bumi dengan magnitudo 6,5 dengan pusat gempa di laut 199 km tenggara Cilacap yang mengakibatkan rusaknya rumah-rumah warga namun tidak ada korban jiwa dan masih banyak lagi data gempa bumi yang terjadi di Jawa Tengah [3]. Hal ini menunjukkan wilayah Jawa Tengah memiliki potensi resiko bahaya gempa bumi sehingga menyebabkan kerusakan struktur bangunan akibat getaran yang ditimbulkannya.

Hal yang berkaitan dengan penelitian ini dijelaskan didalam Al-Qur'an pada surat Al-Ankabut ayat 37 yang berbunyi :

فَكَذَّبُوهُ فَأَخَذَتْهُمُ الرَّجْفَةُ فَأَصْبَحُوا فِي دَارِهِمْ جَاثِمِينَ

Artinya :

“Mereka mendustakannya (Syu'aib), maka mereka ditimpa gempa yang dahsyat, lalu jadilah mereka mayat-mayat yang bergelimpangan di tempat-tempat tinggal mereka” [4]

Ayat ini menjelaskan sebagaimana halnya kaum Nabi Lut, Umat Nabi Syuaib pun durhaka dan tidak mau menerima nasihat Nabi Syuaib. Mereka malah mendustakannya. Oleh karena itu, berlakulah sunnah Allah. Ketika mereka dengan terang-terangan mendustai Syuaib setelah diberi peringatan berulang-ulang, maka tibalah waktunya Allah mengazab mereka. Bumi tempat kediaman mereka diguncangkan oleh gempa yang menggetarkan dan menghancurkan tanah kediaman mereka. Mereka mati jungkir balik dan ditelan bumi, tanpa bergerak lagi. Cerita lebih lengkap tentang nabi Syuaib telah disebutkan pula oleh Allah dalam ayat - ayat lain yaitu surat Al-araf ayat 88 s.d 93 surat Hud ayat 87 sd 94 dan surat Asy-syu'ara ayat 176 s.d 190 (Tafsir Indonesia, DEPAG).

Efek tapak lokal merupakan bahasan tentang adanya pengaruh kondisi geologi lokal daerah sekitar terhadap getaran tanah yang terjadi akibat gempa bumi sehingga suatu wilayah dengan kondisi geologi yang sama dapat mempunyai respon yang berbeda terhadap efek getaran tanah tergantung pada sifat serta karakteristik penyusun litologi pada formasi tersebut fenomena ini disebut *site effect* atau *site amplification* [5]. Berdasarkan peta geologi lembar Yogyakarta [6], secara umum Kecamatan Ngluwar Kabupaten Magelang Jawa Tengah dibentuk oleh Formasi Qmi (Formasi Endapan gunungapi merapi muda) dan Formasi Tmok (Formasi Kebobutak). Menurut data gempa bumi signifikan di Jawa Tengah khususnya di Kecamatan Ngluwar belum pernah mengalami kerusakan yang parah saat terjadi gempa bumi. Namun, lokasi penelitian ini berada dekat dengan jalur sesar lokal (Sesar Progo) yang belum teridentifikasi keaktifannya sehingga sangat memungkinkan terjadinya gempa yang bersumber dari sesar tersebut [6].

Untuk itu, penting untuk memperkirakan bahaya seismik yang mungkin terjadi oleh gempa bumi untuk mengurangi potensi kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi. Melalui penelitian ini masyarakat dapat mempersiapkan pembangunan yang tahan terhadap getaran gempa bumi dan memilih lokasi yang tepat sehingga dapat meminimalisir resiko saat bencana gempa bumi terjadi.

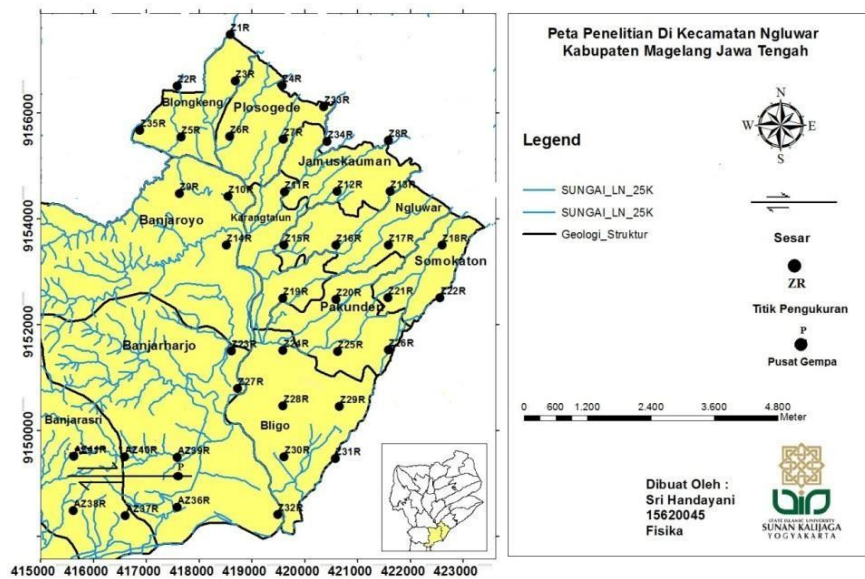
Salah satu upaya mitigasi yang dilakukan adalah pengukuran mikrotremor menggunakan metode *HVSR* melalui studi mikroseismik yang merupakan metode geofisika yang banyak berperan dalam berbagai bidang, seperti eksplorasi minyak bumi dan gas bumi, eksplorasi panas bumi, studi kegunung apian, pembelajaran struktur dalam bumi dan kegeomaan. Penggunaan studi mikroseismik ini bertujuan untuk mendeteksi getaran atau pergerakan tanah pada area survei. Getaran atau pergerakan tersebut kemudian akan dijadikan acuan untuk analisis bencana alam yang akan diolah menggunakan metode *HVSR*. Analisis data mikrotremor dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectrum Ratio (HVSR)*. Dalam mitigasi bencana gempa bumi, analisis mikrotremor dapat memberikan informasi nilai  $f_0$  (frekuensi dominan) pada suatu tempat yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan tahan gempa sedangkan  $A_0$  (amplifikasi) merupakan proses alami yang terjadi pada gelombang seismik yang dilepaskan dari gempa bumi yang mengalami penguatan (amplifikasi) berdasarkan kondisi batuan yang menyusun suatu daerah [7]. Peristiwa ini dipengaruhi oleh kondisi geologi lokal atau disebut juga *site effect*. Indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) yang dapat menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi [5]. Percepatan getaran tanah maksimum (*PGA*) digunakan untuk mengetahui tingkat bahaya dan resiko pada saat terjadi gempa bumi. Nilai dari parameter indeks kerentanan seismik dan *PGA* batuan dasar (*bedrock*) disebut sebagai nilai ground shear strain. Analisis *ground shear strain* ( $\gamma$ ) dilakukan untuk mengetahui kemampuan meregang atau bergeser yang dialami oleh suatu material lapisan tanah ketika terjadi gempa bumi di daerah penelitian.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan amplifikasi tanah ( $A_0$ ) di Kecamatan Ngluwar dan mengetahui potensi daerah rawan bencana gempa bumi berdasarkan studi tapak lokal dikaji dengan parameter percepatan getaran tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration, PGA*), indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), *ground shear strain (GSS)* dan ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) di Kecamatan Ngluwar. Batasan masalah dari penelitian ini adalah area penelitian adalah kawasan Kecamatan Ngluwar Kabupaten Magelang Jawa Tengah dengan titik koordinat grid UTM adalah X antara 418585,4216 mT sampai 416880 mT dan Y antara 9157482,98 mU sampai 9155669 mU. Alat yang digunakan adalah Seismometer tipe *Seismograph portable (TDS-303)* dan olah data menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)*. Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini untuk dunia pendidikan bertambahnya ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan bencana gempa bumi pada daerah tempat dilakukannya penelitian dan dapat memberikan informasi kepada peneliti lainnya mengenai kajian penelitian yang dilakukan dengan harapan peneliti lain dapat mengembangkan penelitian ini ke arah yang lebih baik sedangkan manfaat bagi pemerintah dan masyarakat dapat menambah wawasan masyarakat dan pemerintah dalam hal mempersiapkan pembangunan yang tahan terhadap getaran gempa bumi sehingga dapat meminimalisir resiko saat bencana gempa bumi terjadi.

## Metode Penelitian

Tempat penelitian di Stasiun Pengamatan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kelas I Yogyakarta Jalan Wates KM 8 Jitengan Balecatur, Gamping, Sleman. Kegiatan pengukuran data mikrotremor ini dilaksanakan dari bulan Maret 2019 sampai bulan

Juli 2019 di daerah Kecamatan Ngluwar, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. Peta desain survei pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar dibawah ini



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Metode analisa data pada penelitian ini yang bertujuan untuk mengetahui potensi daerah rawan bencana gempabumi berdasarkan studi tapak lokal dikaji dengan parameter percepatan getaran tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration, PGA*), indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), *ground shear strain (GSS)* dan ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) di Kecamatan Ngluwar, harus melalui tahap pengolahan data seperti berikut :

Data dalam format MSD diolah menggunakan *software geopsy* dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Rasio (HVSr)*. Hasil data yang diperoleh dari *software geopsy* dengan menggunakan metode *HVSr* yaitu nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_0$ ). Dari parameter tersebut dimasukkan ke dalam persamaan (1) untuk menghitung nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dan persamaan (2) untuk memperoleh nilai periode dominan ( $T_0$ ).

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (1)$$

$K_g$  adalah Indeks kerentanan seismik ( $s^2/cm$ ),  $A_0$  adalah faktor amplifikasi tanah,  $f_0$  adalah frekuensi dominan tanah (Hz)

$$T = \frac{1}{f} \quad (2)$$

$T$  adalah periode (s), dan  $f$  adalah frekuensi (Hz)

Dari nilai periode dominan ( $T_0$ ), maka dapat pula dihitung nilai percepatan getaran tanah ( $PGA$ ) dengan persamaan (3) dan menggunakan magnitudo sumber gempabumi buatan di daerah sesar lokal. Menghitung nilai *ground shear strain (GSS)* menggunakan persamaan (4).

$$a_g = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{(0,61M) - \left(1,66 + \frac{3,60}{R}\right) \log R + 0,167 - \frac{1,83}{R}} \quad (3)$$

$a_g$  adalah nilai percepatan tanah maksimum (gal atau  $cm/s^2$ ),  $T_0$  adalah periode dominan tanah titik pengukuran (s),  $M$  adalah magnitudo gempabumi,  $R$  adalah jarak hiposenter (km).

$$\gamma = K_g \times a_g \times 10^{-6} \quad (4)$$

$\gamma$  adalah *ground shear strain*,  $a_g$  adalah percepatan tanah maksimum (gal atau  $\text{cm/s}^2$ ),  $K_g$  adalah indeks kerentanan seismik ( $\text{s}^2/\text{cm}$ ),  $10^{-6}$  adalah merupakan ketetapan untuk memperkirakan nilai strain pada lapisan tanah permukaan

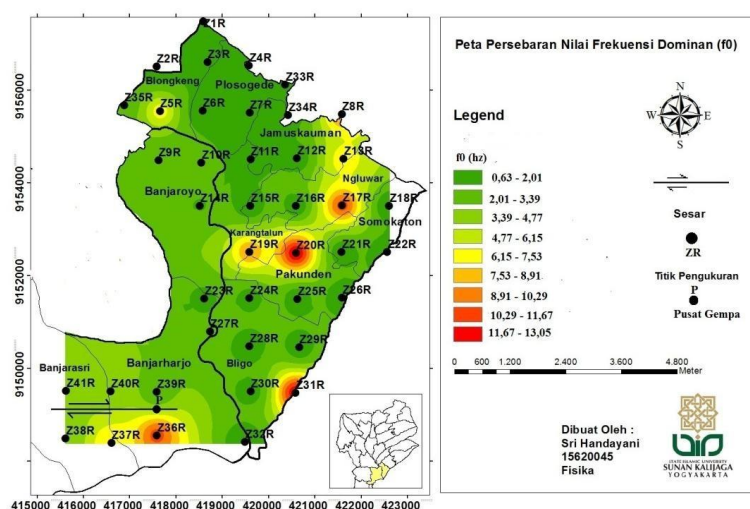
Menghitung nilai ketebalan sedimen tanah dengan menggunakan data Vs30 yang diperoleh dari situs USGS Global Vs30 dengan cara digitasi. Selanjutnya membuat peta kontur sebaran nilai dari frekuensi dominan ( $f_0$ ), faktor amplifikasi ( $A_0$ ), indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), nilai percepatan getaran tanah (PGA) dan nilai *Ground Shear strain* (GSS) dengan menggunakan *software surfer* 12. Menginterpretasi sebaran nilai dari setiap parameter dengan mencocokkan dari kondisi tanah dan kondisi geologi daerah sekitar titik pengukuran.

## Hasil dan Pembahasan

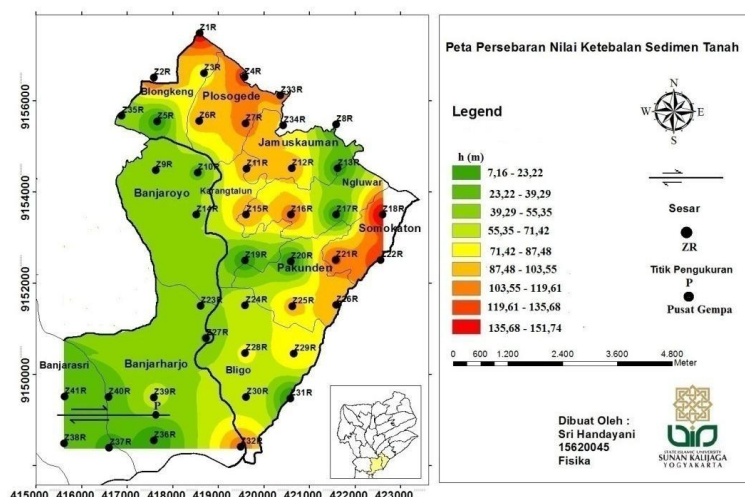
Mikrotremor merupakan getaran lingkungan (*ambient vibration*) yang berasal dari dua sumber utama, yaitu aktivitas manusia dan alam [8]. Getaran mikrotremor terjadi karena akibat orang berjalan, getaran mobil, getaran mesin-mesin pabrik, getaran angin, gelombang laut atau getaran alamiah dari tanah [9]. Melalui penelitian ini masyarakat dapat mempersiapkan pembangunan yang tahan terhadap getaran gempa bumi, memberikan informasi awal kepada masyarakat tentang bahaya aktivitas seismik yang dapat menyebabkan bencana alam serta memberikan informasi mengenai peta sebaran zonasi daerah rentan bahaya seismik sehingga dapat meminimalisir resiko bencana gempa bumi yang akan terjadi. Kurva *HVSR* dari mikrotremor untuk karakterisasi geologi lokal dipengaruhi parameter-parameter bawah permukaan. Parameter tersebut mempengaruhi nilai frekuensi dominan tanah ( $f_0$ ) dan nilai puncak kurva *HVSR* atau faktor amplifikasi spektrum tanah ( $A_0$ ) yang dihasilkan. Pola kurva *HVSR* hasil pengukuran di lokasi penelitian antara lain yaitu kriteria *clear peak* ditemukan di lokasi titik pengukuran yang jauh dari kegiatan industri yang menghasilkan sinyal *ambient*, yang terdapat di Formasi Qmi (Formasi Endapan gunungapi merapi muda) yang terdiri dari tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. Formasi tersebut tersusun atas material lepas dengan material yang berbutir lempung hingga krakal. Kriteria *double peak* ditemukan di lokasi titik pengukuran yang dekat dengan aktivitas industri sehingga salah satu *peak* nya merupakan pengaruh dari aktivitas industri [10]. Kurva seperti ini disebabkan oleh keadaan geologi di suatu daerah penelitian yang berupa sedimen misalnya breksi, aglomerat yang terdapat di Formasi Qmi. Kriteria *broad peak or multiple peaks* ini ditemukan di lokasi titik pengukuran yang berada di lembah [10]. Kriteria *Flat H/V Ratio Curves [on sediments]* terdapat pada karakteristik tanah yang kaku (endapan pasir kasar) terletak di atas suatu *bedrock* yang tidak diketahui kedalamannya dengan Formasi Tmps (Formasi Sentolo) yang terdiri dari batu gamping dan batu pasir napala dengan ketebalan sedimen yang tipis.

Berdasarkan nilai frekuensi natural yang diperoleh pada tiap titik pengukuran kemudian dibuat peta persebaran nilai frekuensi dominan dan peta persebaran nilai ketebalan sedimen. Korelasi antara nilai frekuensi dominan dan nilai ketebalan sedimen saling berbanding terbalik artinya suatu daerah dengan nilai frekuensi rendah maka akan memiliki nilai ketebalan sedimen yang tinggi dan sebaliknya. Daerah yang memiliki nilai frekuensi rendah dengan ketebalan sedimen yang tinggi dicontohkan pada Desa Plosogede, Blongkeng, Somokaton dan selanjutnya dapat dilihat pada gambar 2 dan 3. Daerah dengan nilai frekuensi dominan kecil memiliki struktur batuan penyusunnya lunak hingga sangat lunak dengan ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal yaitu >30 meter. Hal ini juga menunjukkan hampir seluruh daerah penelitian tersebut memiliki resiko yang besar (rawan) terhadap bencana gempa bumi. Menurut peta geologi daerah penelitian dengan nilai frekuensi yang rendah berada pada

Formasi Qmi (Formasi Endapan gunungapi merapi muda) yang terdiri dari tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. Formasi tersebut tersusun atas material lepas dengan material yang berbutir lempung hingga krakal. Daerah penelitian yang dianggap memiliki tingkat resiko yang kecil terhadap bencana gempabumi terletak pada Desa Ngluwar bagian timur, Pakunden bagian utara, Bligo bagian timur dan Banjarharjo bagian selatan dengan memiliki nilai frekuensi dominan yang tinggi dapat dilihat pada gambar 2 dan memiliki nilai ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis (rendah) dapat dilihat pada gambar 3 yang didominasi oleh batuan keras. Menurut peta geologi daerah dengan nilai frekuensi dominan yang tinggi juga berada pada Formasi Qmi (Formasi Endapan gunungapi merapi muda) yang terdiri dari tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan namun pada titik Z36R berada pada Formasi Tmps (Formasi Sentolo) yang terdiri dari batu gamping dan batu pasir. Berikut peta persebaran nilai frekuensi dominan dan peta persebaran nilai ketebalan sedimen ditunjukkan seperti pada gambar dibawah ini



**Gambar 2.** Peta persebaran nilai frekuensi dominan di Kecamatan Ngluwar



**Gambar 3.** Peta persebaran nilai ketebalan sedimen di Kecamatan Ngluwar

Faktor amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Semakin besar perbedaan itu, maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar. Pada penelitian ini nilai amplifikasi pada lokasi penelitian didominasi dengan kategori sedang dan tinggi. Menurut peta geologi titiktitik

---

pengukuran tersebut terletak pada Formasi Qmi (Formasi Endapan gunungapi merapi muda) yang terdiri dari tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisah. Formasi tersebut tersusun atas material lepas dengan material yang berbutir lempung hingga krakal sedangkan menurut area penelitian titik pengukuran tersebut berada di area persawahan dengan tanah yang lunak dan berada dekat dengan aliran air. Area penelitian pada titik pengukuran yang memiliki nilai amplifikasi dalam kategori sedang dan tinggi memiliki tanah yang lunak sehingga memiliki resiko (rawan) terjadi gempa bumi yang tinggi. Hal ini disebabkan karena sedimen lunak yang memperlambat durasi gelombang yang menjalar di daerah tersebut sehingga terjadi guncangan terhadap bangunan. Nilai amplifikasi tanah pada tingkat terendah terletak pada Desa Banjaroyo bagian selatan, Bligo bagian selatan, dan Desa Banjarasri dengan formasi yang sama yaitu Formasi Qmi (Formasi Endapan gunungapi merapi muda) namun material penyusunnya lebih keras dibandingkan dengan titik pengukuran yang memiliki nilai amplifikasi yang tinggi. Berdasarkan pada penelitian ini mayoritas di Kecamatan Ngluwar memiliki nilai amplifikasi dengan kategori sedang sampai dengan kategori tinggi dengan jenis batuan yang lunak sampai dengan sangat lunak sehingga memiliki tingkat resiko yang besar (rawan) terhadap bencana gempa bumi.

Indeks kerentanan seismik merupakan parameter yang menggambarkan bagaimana tingkat kerentanan suatu daerah jika terjadi bencana gempa bumi. Nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi, maka akan memiliki tingkat resiko gempa bumi yang tinggi sedangkan suatu daerah memiliki nilai indeks kerentanan seismik yang rendah maka tingkat resiko saat terjadi gempa bumi juga rendah. Nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) di Kecamatan Ngluwar berkisar antara 0,87 sampai 58,22  $s^2/cm$ . Kondisi geologi suatu daerah ini diasosiasikan dengan nilai periode dominan daerah tersebut dapat diketahui. Apabila periode dominan bernilai kecil maka indeks kerentanan seismik akan bernilai kecil, begitupun sebaliknya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai periode dominan tinggi lebih mendominasi dan merata di semua Kecamatan Ngluwar. Artinya mayoritas Kecamatan Ngluwar tersusun oleh batuan yang lunak dengan Formasi Qmi (Formasi Endapan gunungapi merapi muda) hal ini bersesuaian dengan nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi.

Nilai percepatan getaran tanah maksimum dihitung berdasarkan magnitudo gempa bumi yang pernah terjadi dan jarak sumber gempa bumi terhadap titik pengukuran, serta nilai periode dominan tanah di daerah tersebut. Model gempa bumi skenario yang digunakan adalah gempa bumi dengan sumber sesar lokal (sesar progo) dengan dua skenario, yaitu skenario pertama membuat gempa buatan dengan magnitudo 5 dan skenario kedua membuat gempa buatan dengan magnitudo 6 dan masing-masing kedalaman 15 km dengan lokasi episenter 110,25 BT dan -7,69 LS. Model gempa bumi skenario ini didasarkan pada tingkat kerusakan fisik yang ditimbulkannya sudah cukup parah apabila dilihat dari nilai percepatan getaran tanahnya sedangkan model gempa bumi kurang dari 5 dampak yang ditimbulkan belum cukup parah. Model gempa bumi ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kerusakan yang berpengaruh pada daerah penelitian dengan menggunakan Skala Intensitas Gempa (MMI) dan sebagai langkah - langkah mitigasi agar masyarakat dapat mempersiapkan pembangunan yang tahan terhadap getaran gempa bumi sehingga dapat meminimalisir resiko saat bencana gempa bumi terjadi. Nilai percepatan tanah yang kecil maka menggambarkan bahwa resiko bahaya gempa bumi kecil sedangkan nilai percepatan getaran tanah yang tinggi menggambarkan bahwa resiko bahaya gempa bumi besar. Nilai  $PGA$  di daerah penelitian dengan magnitudo 5 berada pada resiko sangat kecil dengan skala MMI III sampai dengan VI yang menggambarkan fenomena getaran gempa dapat dirasakan oleh hampir semua orang, jendela dan pintu bergetar, orang-orang kesulitan berjalan dan terjadi kerusakan ringan pada bangunan yang tidak kokoh. Nilai  $PGA$  dengan magnitudo 6 berada pada resiko kecil berasosiasi dengan skala MMI VI sampai dengan VII yang menggambarkan fenomena gempa dapat dirasakan oleh hampir semua orang, benda-benda jatuh dari tempatnya, semak-semak bergoyang, orang-orang kesulitan

berdiri, terasa oleh orang yang berkendara. Resiko sedang dua berasosiasi dengan skala MMI VII sampai dengan VIII yang menggambarkan fenomena gempa dapat dirasakan oleh orang yang berkendara, struktur tinggi (termasuk menara dan cerobong asap) runtuh, retak muncul di tanah yang lunak, ketinggian air sumur mengalami perubahan ketinggian dan terjadi kerusakan cukup parah pada bangunan yang tidak kokoh.

Menurut Skala MMI resiko paling besar berada pada Desa Banjarharjo dengan Formasi Tmps (Formasi Sentolo) yang terdiri dari batu gamping dan batu pasir, Desa pakunden, Desa Bligo, dan Desa Ngluwar pada Formasi Qmi (Formasi Endapan gunungapi merapi muda) yang terdiri dari tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisah. Desa Banjarharjo merupakan desa dengan salah satu memiliki nilai *PGA* yang tinggi karena pada desa tersebut berada didekat titik sumber gempabumi buatan yang terletak di sesar proggo.

*GSS (ground shear strain)* merupakan kemampuan suatu material untuk menggeser atau meregang pada saat terjadi gempabumi. Nilai *GSS* dipengaruhi oleh nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dan nilai percepatan tanah maksimum (*PGA*). Nilai *GSS* mempengaruhi kemungkinan suatu wilayah mengalami kerusakan saat terjadi gempabumi. Semakin besar nilai *GSS* menyebabkan lapisan tanah mengalami deformasi seperti likuifaksi, rekahan tanah, dan longsor. Berdasarkan hasil penelitian nilai *ground shear strain (GSS)* di Kecamatan Ngluwar saat magnitudo 5 memiliki nilai antara  $0,99 \times 10^{-3}$  sampai dengan  $1,53 \times 10^{-3}$  gal. Hal ini menunjukkan bahwa daerah tersebut mengalami gelombang getaran hingga fenomena rekahan dan penurunan tanah sedangkan nilai *ground shear strain (GSS)* pada saat magnitudo 6 memiliki nilai antara  $0,35 \times 10^{-3}$  sampai dengan  $6,25 \times 10^{-3}$ . Pada magnitudo 6 semua area penelitian dapat mengalami fenomena rekahan dan penurunan tanah dengan dampak risikonya lebih tinggi apabila dilihat dari nilai percepatan getaran tanahnya (*PGA*) dibandingkan dengan magnitudo 5. Dari hasil penelitian ini hampir seluruh Kecamatan Ngluwar memiliki nilai *GSS* yang tinggi, hal ini disebabkan karena seluruh area penelitian ini juga memiliki nilai percepatan getaran tanah dan indeks kerentanan seismik yang tinggi. Ketiga parameter ini saling berbanding lurus. Perhitungan nilai *Ground shear strain* menunjukkan bahwa pendekatan fenomena yang dapat terjadi pada saat gempabumi dengan magnitudo 5 dan 6 dengan kedalaman gempa 15 km di Kecamatan Ngluwar dapat mengalami fenomena berupa rekahan dan penurunan tanah.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Kecamatan Ngluwar Kabupaten Magelang Jawa Tengah memiliki resiko yang tinggi (rawan) terhadap gempabumi. Hal ini dikarenakan pada lokasi penelitian memiliki nilai ketebalan sedimen yang lunak. Endapan lunak akan memperkecil frekuensi getaran tanah dan memperpanjang durasinya sehingga akan menambah efek kerusakan yang ditimbulkannya. Penelitian ini berupaya untuk meminimalisir resiko yang terjadi akibat gempabumi sebagaimana dalam QS. An-Nahl ayat 15 yang berbunyi :

وَأَلْقَى فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَنْ تَمِيدَ بِكُمْ وَأَنْهَارًا وَسُبُلًا لَعَلَّكُمْ تَهْتَدُونَ

Artinya : “Dan Dia menancapkan gunung di bumi agar bumi itu tidak goncang bersama kamu, (dan Dia menciptakan) sungai-sungai dan jalan-jalan agar kamu mendapat petunjuk”

Penyebab terjadinya gempabumi salah satunya karena banyaknya gunung-gunung berapi yang masih aktif seperti di Pulau Sumatera dan Jawa. Bukti sains menunjukkan bahwa lapisan bumi mengandung 20 padatan, yaitu lapisan Litosfir (kedalaman sekira 100 km), lapisan kerak dan selubung (ketebalan 500 hingga 1.000 km), dan 80 persen sisanya adalah air dan magma yang panas. Lapisan padat teratas pada bumi bagaikan lempengan tipis yang terapung di atas lapisan magma sehingga lempeng ini akan selalu bergerak dan mengalami berbagai tekanan



---

yang menghasilkan tabrakan, patahan, getaran maupun guncangan yang menyebabkan gempa bumi. Meskipun patahan hanya beberapa sentimeter saja, akan tetapi dapat menghasilkan getaran yang hebat di permukaan bumi. Walaupun pada dasarnya bencana itu datangnya dari Allah SWT sebagaimana firman-Nya dalam QS. Al-Ankabut ayat 37 namun tugas kita sebagai orang mukmin dalam menghadapi bencana ini adalah dengan berusaha menghindari bencana tersebut sambil bertawakal kepada Allah SWT.

Salah satu dampak yang terjadi di permukaan bumi akibat guncangan gempa bumi ini yaitu menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan yang berada di permukaan bumi dengan tingkat kerusakan yang berbeda-beda sesuai dengan lapisan tanah, besar kecilnya magnitudo dan jarak sumber gempa bumi terhadap suatu daerah tersebut. Tingkat kerusakan akibat guncangan gempa bumi dapat diketahui melalui nilai percepatan getaran tanah dan untuk mengetahui karakteristik tanah suatu daerah sehingga dapat mengetahui tingkat resiko akibat gempa bumi melalui *studi site effect* dengan indikator nilai frekuensi dominan, amplifikasi, indeks kerentanan seismik, ketebalan sedimen, percepatan getaran tanah dan nilai *ground shear strain*. Penelitian ini merupakan upaya mitigasi untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan akibat bencana gempa bumi melalui kegiatan pengkajian karakteristik kebencanaan disuatu wilayah melalui studi *site effect* atau tapak lokal yang nantinya diaplikasikan dalam kebijakan penanganan resiko bencana.

### **Kesimpulan dan Saran**

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa lokasi penelitian mempunyai nilai frekuensi dominan yang rendah dan ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal yaitu >30 meter dengan nilai frekuensi dominan 0,63 sampai dengan 2,19 Hz sedangkan nilai amplifikasi pada lokasi penelitian berada pada kategori sedang dengan nilai amplifikasi 3,03 sampai dengan 5,97 sehingga mempunyai resiko gempa bumi tinggi (rawan) terhadap gempa bumi. Daerah yang berpotensi tinggi (rawan) terhadap bencana gempa bumi berdasarkan studi tapak lokal yang dikaji dengan parameter frekuensi dominan ( $f_0$ ), amplifikasi tanah ( $A_0$ ), ( $PGA$ ), ( $K_g$ ), ( $GSS$ ) dan ( $h$ ) terdapat pada hampir seluruh lokasi penelitian di Kecamatan Ngluwar. Resiko kerusakan paling tinggi terhadap bencana gempa bumi terdapat pada daerah Banjarharjo. Hal ini disebabkan karena memiliki jarak terdekat dengan sumber gempa bumi. Saran yang diberikan pada peneliti selanjutnya yaitu menggunakan konversi nilai  $V_s$  agar nilainya lebih valid dan pada proses pengambilan data dilakukan pada daerah-daerah yang jauh dari banyaknya aktifitas di jalan maupun aktifitas warga setempat untuk menghindari tingginya jumlah *noise* yang akan mengurangi tingkat reliable data.

### **Ucapan Terimakasih**

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

- Kedua Orang tua saya Bapak Wagino dan Ibu Siti Fatimah yang telah membantu dalam pendanaan dan pendukung penelitian penulis.
- Bapak Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, M.Si. dan Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si. yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun serta dukungan dan nasihat yang berarti.
- Tim sukses Badrun, Hendri, Umar, Mujib yang telah membantu dalam pengambilan data penelitian ini

---

**Daftar Rujukan**

- [1] Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). 2010. *Peta Zonasi Ancaman Gempa Bumi di Indonesia*.
- [2] Kertapati, E. K. 2004. *Aktivitas Gempabumi di Indonesia: Perspektif Regional pada Karakteristik Gempabumi Merusak, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [3] BMKG. 2018. *Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak 1821-2018*. Pusat gempabumi dan tsunami BMKG. Jakarta.
- [4] Al-Jumanatul'Ali. 2004. *Al-Qur'an dan Terjemahnya*. CV Penerbit J-ART Departemen Agama RI. Bandung.
- [5] Nakamura, Y. 1996. Real Time Information Systems for Seismic Hazards Mitigation. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports, Vol. 37 No. 3 1996* : 112-127.
- [6] Raharjo. W, Sukandar. R, dan Rosidi H. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung
- [7] Destegul, U., 2004. *Sensitivity Analysis of Soil Site Response Modelling in Seismic Microzonation for Lalitpur Nepal*. Enschede. Netherlands
- [8] Nakamura, Y. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and its Applications*. In: Proceedings of 12<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand.
- [9] Ibrahim, Gunawan, dan Subardjo. 2005. *Pengetahuan seismologi*. Badan Meteorologi dan Geofisika. Jakarta.
- [10] SESAME. 2004. *European research project WP12: Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements, processing and interpretation*