

## IDENTIFIKASI ZONA BAHAYA GEMPA BUMI BERDASARKAN PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DI KOTA SEMARANG

Sorja Koesuma<sup>1,2</sup>, Viola Fajrin<sup>1</sup>, Bambang Sunardi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Universitas Sebelas Maret

<sup>2</sup>Pusat Studi Bencana, Universitas Sebelas Maret

<sup>3</sup>BMKG Stasiun Geofisika Kelas I

\*Email: fajrinviola@student.uns.ac.id

### ABSTRACT

*Semarang City as the Capital of Central Java Province requires an earthquake-prone map. It is required since there are two active faults in Semarang, namely the Semarang fault (part of the Baribis - Kendeng fault) and the Ungaran fault. Moreover, Semarang City is composed of alluvial layers that can accelerate earthquake waves. This study aims to determine site class, peak ground acceleration (PGA) in bedrock, PGA at ground level and earthquake hazard index in Semarang City. In this study, the calculation of peak ground acceleration uses the method in SNI 1726: 2019, while the earthquake hazard index refers to the JICA classification. As input data in the form of the peak ground acceleration value in bedrock, the average shear wave velocity to a depth of 30 meters ( $V_s30$ ) to determine the site class, as well as the value of the amplification factor. The calculation results in almost all areas of Semarang City have a high earthquake hazard index and only Genuk sub-district has a moderate hazard index. The main determinants of peak ground acceleration at the surface are the source of the earthquake and the rock type.*

**Keyword:** earthquake, Semarang City, peak ground acceleration

### A. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang diakibatkan pergerakan lempeng bumi oleh aktivitas tektonik, maupun aktivitas vulkanik. Energi yang dilepaskan berupa gelombang seismik (Bahri & Mungkin, 2019). Indonesia memiliki potensi gempa bumi yang sangat besar, hal ini didukung dengan kondisi geografis Indonesia yang merupakan wilayah pertemuan tiga lempeng besar, diantaranya lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia serta satu lempeng mikro Filipina (Damayanti dkk, 2020). Interaksi lempeng-lempeng ini menyebabkan terbentuknya jalur

subduksi dan sesar sebagai lokasi yang berpotensi menjadi pusat gempa bumi.

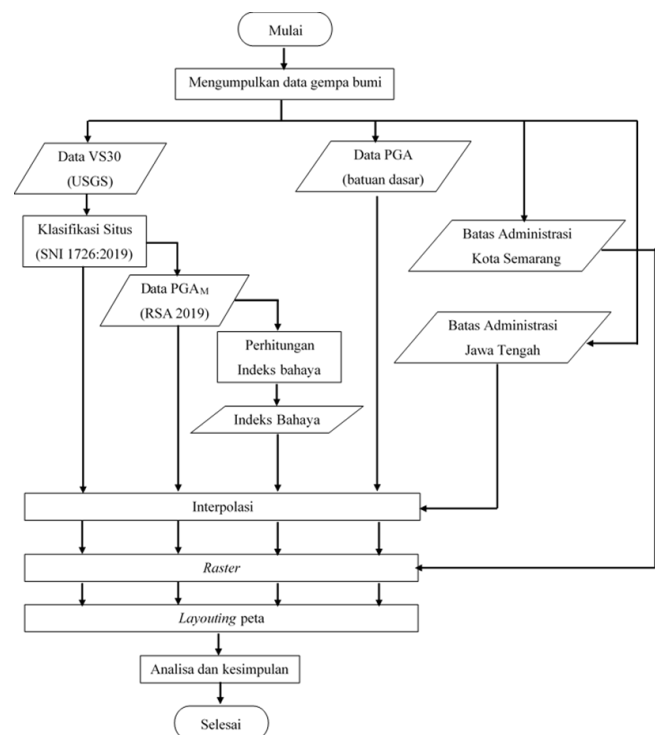
Katalog gempa bumi merusak Indonesia tahun 1612-2014 (Supartoyo dkk, 2014) menunjukkan di Kota Semarang pernah terjadi gempa bumi yang berdampak pada beberapa desa di kota tersebut. Terdapat dua gempa yang merusak, yaitu pada tahun 1856 dengan skala Modified Mercalli Intensity (MMI) sebesar VI-VII dan pada tahun 2014 sebesar IV-V. Meski tidak menimbulkan korban jiwa, gempa ini menimbulkan kerugian yang cukup signifikan dan memiliki potensi untuk terjadi kembali.

Kota Semarang merupakan ibukota Provinsi Jawa Tengah, Indonesia. Berdasarkan data jumlah penduduk dari BPS Jawa Tengah, Kota Semarang adalah salah satu kota dengan jumlah penduduk terbanyak, yaitu 1,6 juta jiwa. Menurut karakteristik geologinya, Kota Semarang berada pada daerah Kraton Sunda (bagian tenggara Lempeng benua Eurasia) (Bachri, 2014). Kota Semarang juga termasuk daerah rawan gempa bumi karena terdapat sumber aktif gempa, yaitu sesar Semarang dan sesar Ungaran (Robiana dkk, 2021).

Besarnya gempa bumi yang dirasakan bergantung pada kekuatan gempa bumi, jarak dari pusat gempa, dan juga karakteristik tanah. Menurut Wardhana dkk (2014), Kota Semarang bagian utara didominasi oleh endapan alluvial berumur Kuartar dan di bagian Selatan berupa tinggian didominasi oleh batuan vulkanik dan tampak beberapa struktur patahan. Dengan jenis tanah tersebut akan memberikan efek amplifikasi (penguatan) gelombang yang cukup besar. Oleh karena kondisi tersebut, salah satu upaya untuk meminimalkan dampak bencana gempa bumi di Kota Semarang adalah dengan memberikan informasi mengenai indeks bahaya gempa bumi berdasarkan percepatan tanah maksimum di permukaan (PGAM).

## B. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan dan mengolah data gempa serta membuat peta. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah koordinat titik di Jawa Tengah dan nilai Vs30 Jawa Tengah yang diperoleh dari USGS (<https://earthquake.usgs.gov/data/Vs30/>), serta nilai PGA Jawa Tengah. Sebagai data pendukung, digunakan data batas administrasi Jawa Tengah dan Kota Semarang.



Gambar 1. Diagram alur penelitian

Uraian singkat mengenai metode penelitian dirangkum dalam diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Tahap pengolahan data dimulai dengan mengklasifikasikan situs nilai Vs30 berdasarkan tabel 1 sesuai dengan SNI

1726:2019. Kemudian untuk menentukan nilai PGAM, digunakan software RSA 2019 dengan menginputkan titik koordinat dan kelas situs Vs30.

**Tabel 1.** Klasifikasi situs

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)
SA (batuan keras)	>1500
SB (batuan)	750 – 1500
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 – 750
SD (tanah sedang)	175 - 350
SE (tanah lunak)	<175

**Tabel 2.** Koefisien situs FPGA

Kelas Situs	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA = 0,5	PGA ≥ 0,6
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1
SE	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1

Nilai PGAM harus disesuaikan dengan kelas situsnya. Menurut SNI 1726:2019, PGAM dapat ditentukan dari persamaan:

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \quad (1)$$

Dimana  $F_{PGA}$  merupakan koefisien situs seperti pada Tabel 2.

**Tabel 3.** Klasifikasi Indeks Bahaya

Kelas	Nilai	Indeks
< 0,25	1	Nilai/Nilai Maks
0,25 – 0,30	2	
0,30 – 0,35	3	
0,35 – 0,40	4	
0,40 – 0,45	5	
0,45 – 0,50	6	
0,50 – 0,55	7	
> 0,55	8	

Nilai PGAM kemudian diklasifikasikan berdasarkan JICA (2015) dengan nilai 1 – 8 seperti pada Tabel 3. Untuk menentukan indeks bahaya, dilakukan perhitungan dengan rumus:

$$Nilai\ Indeks = \frac{Nilai}{Nilai\ max} \quad (2)$$

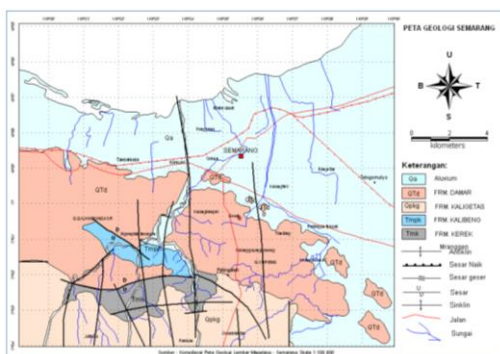
Selanjutnya data PGA, PGAM, Vs30 dan Indeks Bahaya di interpolasi TIN (Triangulated Irregular Network), kemudian dibuat raster, dan dilakukan simbolisasi pada layout peta. Hasil yang didapat selanjutnya dilakukan analisa dan kesimpulan.

### C. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Kecepatan Gelombang Geser Hingga Kedalaman 30m (Vs30)

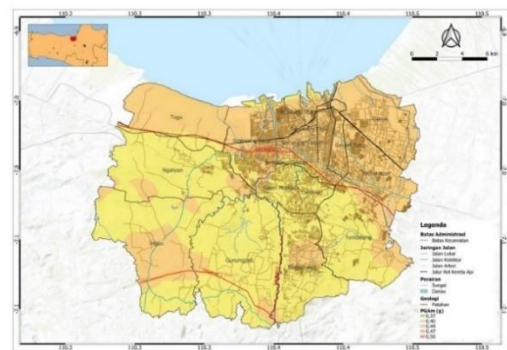
Analisis bahaya gempa bumi dipengaruhi oleh kondisi lapisan tanah seperti jenis tanah, ketebalan tanah, elastisitas lapisan tanah, dan muka air tanah. Kondisi lapisan tanah dapat ditentukan menggunakan kecepatan gelombang geser (Sunardi & Nugraha, 2016). Kecepatan gelombang geser untuk lapisan tanah hingga kedalaman 30 m (Vs30) merupakan parameter yang telah lama dikenal untuk mengevaluasi sifat dinamis tanah berdasarkan waktu tempuh dari permukaan hingga kedalaman 30 m. Vs30 saat ini digunakan untuk memisahkan lokasi kedalam klasifikasi kelas yang berbeda. Klasifikasi tersebut kemudian digunakan untuk menentukan

koefisien seismik dalam desain bangunan tahan gempa (Brown dkk., 2000). Dari hasil peta Vs30 pada Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai Vs30 di wilayah Kota Semarang bervariasi antar 175 sampai 750 m/s. Distribusi dengan rentang rendah berada pada bagian utara dan timur Kota Semarang, sedangkan distribusi dengan rentang tinggi berada pada bagian barat dan selatan Kota Semarang. Hal ini sesuai dengan kondisi topografi wilayah Kota Semarang, dimana pada daerah dengan nilai Vs30 rendah adalah wilayah pantai yang didominasi dengan alluvial dan pada daerah dengan nilai Vs30 tinggi adalah bagian pegunungan yang didominasi dengan batuan vulkanik. Kesesuaian ini dibuktikan dengan peta geologi Kota Semarang pada gambar 2, sehingga didapat informasi bahwa nilai Vs30 berbanding lurus dengan densitas lapisan tanah suatu daerah.



**Gambar 2.** Peta geologi Kota Semarang (Wardhana dkk,2014)

situs yaitu SC (tanah keras/batuan lunak) yang ditunjukkan dengan warna kuning dan SD (tanah sedang) dengan warna oranye. Wilayah dengan kelas situs SC, diantaranya Kecamatan Ngaliyan, Gajah Mungkur, Candisari, Tembalang, dan Gunung Pati. Sedangkan wilayah dengan kelas situs SD, diantaranya Kecamatan Tugu, Semarang Barat, Semarang Utara, Semarang Tengah, Semarang Timur, Semarang Selatan, Gayam Sari, Genuk, dan Pedurungan. Terdapat juga beberapa kecamatan yang hanya setengah bagiannya saja yang termasuk dalam kelas SC dan sebagian lagi SD, yaitu Kecamatan Mijen dan Banyumanik. Wilayah dengan nilai Vs30 yang lebih rendah cenderung lebih rentan terhadap gempa bumi. Hal ini dikarenakan ketika terjadinya gempa bumi maka tanah dengan VS30 yang lebih rendah akan memberikan respon getaran yang lebih besar.

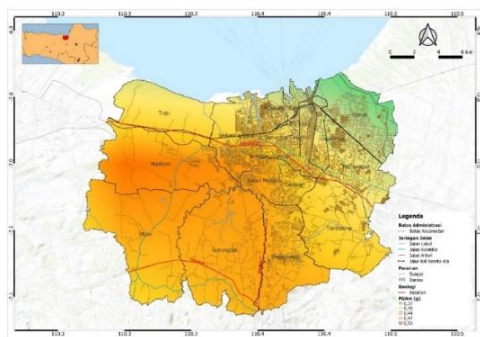


**Gambar 3.** Peta Vs30 Kota Semarang

Berdasarkan Tabel 1, nilai Vs30 Kota Semarang berada di dua kelas

## 2. Percepatan Tanah Maksimum di Batuan Dasar (PGA)

Dalam analisis bahaya seismik, PGA (*Peak Ground Acceleration*) digunakan untuk mengukur besar guncangan tanah pada saat gempa bumi. PGA memperkirakan besar guncangan tanah dengan merepresentasikannya dalam percepatan tanah pada batuan dasar maupun permukaan (Ramkrishnan dkk, 2021). Nilai PGA juga dipengaruhi oleh tingkat kepadatan tanah di daerah tersebut. Semakin padat tanah maka nilai PGA semakin kecil dan semakin besar nilai PGA maka semakin besar pula resiko ketika terjadi gempa bumi (Ayubi dkk, 2020).

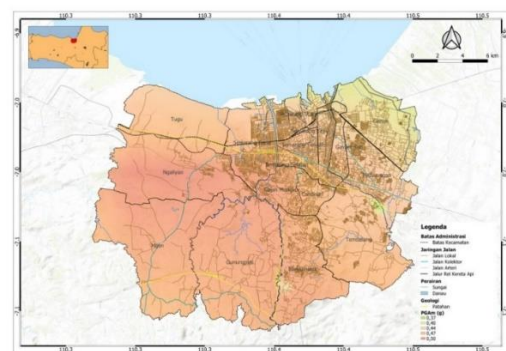


**Gambar 4.** Peta PGA di Batuan Dasar (PGA) Kota Semarang

Nilai percepatan maksimum di batuan dasar (PGA) Kota Semarang bervariasi dari 0,30 – 0,41 gal seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Zonasi PGA di Kota Semarang dibagi menjadi lima zona, yaitu zona dengan nilai percepatan 0,42 g, zona dengan nilai percepatan 0,39 g, zona dengan nilai

percepatan 0,36 g, zona dengan nilai percepatan 0,33 g, dan zona dengan nilai percepatan 0,30 g. Dari Gambar 4, distribusi nilai PGA 0,39 g mendominasi di bagian selatan Kota Semarang, yaitu di Kecamatan Mijen, Gunung Pati, Banyumanik, Gajahmungkur, dan Kecamatan Semarang Selatan. Sedangkan bagian utara dan tenggara didominasi dengan nilai percepatan 0,36 g yaitu Kecamatan Tugu, Semarang Barat, Semarang Utara, Semarang Tengah, Semarang Timur, Gayam Sari, Pedurungan, Candisari dan Tembalang. Kecamatan Genuk memiliki nilai percepatan terkecil yaitu sebesar 0,30 – 0,33 g serta Kecamatan Ngaliyan memiliki nilai percepatan terbesar yaitu 0,42 g. Semakin besar nilai PGA, maka potensi terjadi kerusakan lebih besar.

## 3. Percepatan Tanah Maksimum di Permukaan (PGAM)



**Gambar 5.** Peta PGA Permukaan (PGAM) Kota Semarang

Gambar 5 merupakan peta percepatan tanah maksimum di

permukaan tanah Kota Semarang akibat aktivitas Sesar Semarang dan Sesar Ungaran. Dapat dilihat pada peta, terjadi peningkatan nilai PGA setelah sampai di permukaan tanah. Rentang nilai PGA di batuan dasar yaitu sebesar 0,30 – 0,42 g, sedangkan nilai PGA di permukaan sebesar 0,37 – 0,50 g. Peningkatan nilai PGA ini dipengaruhi oleh terjadinya amplifikasi selama proses dari batuan dasar ke permukaan.

Seperti pada Gambar 5, zonasi pada PGAM sama dengan zonasi pada PGA di batuan dasar. Daerah dengan nilai PGA permukaan tinggi sebesar, yaitu 0,50 g berada di Kecamatan Ngaliyan, dan daerah dengan nilai 0,47 g terdapat di Kecamatan Mijen, Gunung Pati, Banyumanik, Gajah Mungkur, dan Kecamatan Semarang Selatan. Sedangkan zona dengan nilai percepatan sedang, yaitu 0,44 g berada di Kecamatan Tugu, Semarang Barat, Semarang Utara, Semarang Tengah, Semarang Timur, Gayam Sari, Pedurungan, Candisari dan Tembalang.

Daerah yang memiliki nilai PGAM tinggi disebabkan oleh letak daerah tersebut berada di sekitaran Sesar Semarang dan Sesar Ungaran sehingga mendapat guncangan paling besar. Ditambah dengan lapisan tanah yang didominasi oleh tanah sedang dan batuan lunak yang ditunjukkan dengan

nilai Vs30 daerah tersebut, sehingga memperbesar faktor amplifikasi. Sedangkan daerah yang memiliki nilai PGAM rendah berada pada bagian timur laut Kota Semarang tepatnya di Kecamatan Genuk, dikarenakan letaknya paling jauh dari kedua sesar tersebut.

#### 4. Indeks Bahaya Gempa Bumi



Gambar 6. Peta indeks bahaya Kota Semarang

Indeks bahaya gempa bumi diketahui dengan menghitung nilai percepatan gelombang di permukaan (PGAM) berdasarkan klasifikasi kelas situs Vs30. Nilai VS30 berbanding terbalik dengan percepatan gelombang yang disebabkan oleh gempa bumi. Hal ini dapat diketahui berdasarkan hasil peta Vs30 dan peta PGAM. Dimana gelombang akan bergerak lebih cepat pada daerah dengan nilai Vs30 yang rendah atau tanah yang lebih lunak.

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa wilayah Kota Semarang memiliki nilai kelas yang cukup tinggi yaitu kelas 4-6 dikarenakan nilai

PGAM di Kota Semarang berkisar antara 0,37 – 0,50 g. Sehingga ketika dihitung menjadi nilai indeks, memberikan hasil di sebagian besar wilayah Kota Semarang merupakan wilayah dengan indeks yang tinggi. Hal ini dapat dilihat pada peta indeks bahaya di Gambar 6, dimana warna merah menunjukkan indeks tinggi, warna kuning indeks sedang, dan warna hijau dengan indeks rendah. Nilai indeks bahaya sedang hanya berada pada bagian timur laut, yaitu kecamatan Genuk.

#### **D. KESIMPULAN**

Kota Semarang berada di dua kelas situs berdasarkan Vs30 yaitu kelas SC (tanah keras/batuan lunak) dan SD (tanah sedang) dengan nilai PGA batuan dasar sebesar 0,30 – 0,42 dan nilai PGA permukaan sebesar 0,37 – 0,50 g. Berdasarkan nilai PGA permukaan tersebut, Kota Semarang memiliki indeks bahaya gempa bumi yang tinggi di hampir seluruh wilayah, sedangkan indeks sedang hanya berada di bagian timur laut, yaitu kecamatan Genuk.

#### **E. DAFTAR PUSTAKA**

Ayubi, S. S. A., Karyanto, Haerudin, N., Rasimeng, S., & Wibowo, R. C. (2020). Zonasi Site Effect dan Analisis Bahaya Penguatan

Gempa Menggunakan Metode DSHA (Deterministic Seismic Hazard Analysis) untuk Menentukan PGA (Peak Ground Accelaration) di Kabupaten Sumba Barat Daya. *Indonesian Physical Review*, 3(2), 38–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.29303/ipr.v3i2.44>

Bachri, S. (2014). Pengaruh Tektonik Regional Terhadap Pola Struktur dan Tektonik Pulau Jawa. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 15(4), 215–221.

Bahri, Z., & Mungkin, M. (2019). Penggunaan SCR sebagai alarm peringatan dini pada saat terjadi gempa bumi. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 4(3), 101–105.

Brown, L. T., Diehl, J. G., & Nigbor, R. L. (2000). a Simplified Procedure To Measure Average Shear-Wave Velocity To a Depth of 30 Meters ( Vs30 ). *12Wcee*, 1–8. <http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/0677.pdf>

Damayanti, C., Yamko, A. K., Souisa, C. J., Barends, W., & Naroly, I. L. P. T. (2020). Pemodelan Segmentasi Mentawai-Pagai: Studi Kasus Gempa Megathrust di Indonesia. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 1(2), 105–

110.  
<https://doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i2.56>
- Ramkrishnan, R., Sreevalsa, K., & Sitharam, T. G. (2021). Development of New Ground Motion Prediction Equation for the North and Central Himalayas Using Recorded Strong Motion Data. *Journal of Earthquake Engineering*, 25(10), 1903–1926. <https://doi.org/10.1080/13632469.2019.1605318>
- Robiana, R., Afif, H., Cipta, A., Omang, A., & Solikhin, A. (2021). Simplifikasi Pembagian Kelas Batuan Berdasarkan Nilai Periode Dominan: Studi Kasus Kota Semarang Simplified Of Site Class Classification Based On Natural Periods: Case Study In Sem ... Simplifikasi Pembagian Kelas Batuan Berdasarkan Nilai Periode Domina. *Bulletin Vulkanologi Dan Bencana Geologi*, 15(1), 11–20.
- Sunardi, B., & Nugraha, J. (2016). Peak Ground Acceleration At Surface Peak Ground Acceleration At Surface and Spectral Acceleration for Makassar City Based on a Probabilistic Approach. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 17(1), 33–46.
- Supartoyo, Surono, & Putranto, E. (2014). Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia Tahun 1612-2014. In *Pvmbg* (Vol. 2014, Issue 57).
- Wardhana, D. D., Harjono, H., & Sudaryanto, S. (2014). Struktur Bawah Permukaan Kota Semarang Berdasarkan Data Gayaberat. *Jurnal Riset Geologi Dan Pertambangan*, 24(1), 53. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2014.v24.81>