

Integrasi Vs30 dan Percepatan Tanah Maksimum (PGA) untuk Analisis Potensi Kerusakan Gempabumi di Kota Ambon

Rimawanto Gultom¹, Nasya Syahnur Pattimura², Ratih C F Ratumanan³

^{1,2,3}Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Kota Ambon, Indonesia

Email: ¹rimawanto@gmail.com

Abstract

Ambon City experiences substantial seismic activity associated with the tectonic complexity of the Banda Arc. Differences in geological setting and shallow subsurface materials can modify the intensity of earthquake shaking from one location to another. This study integrates the average shear-wave velocity to 30 m depth (Vs30) with Peak Ground Acceleration (PGA) to assess the spatial pattern of earthquake damage potential in Ambon City. The dataset comprises 276 USGS Vs30 grid points and PGA information provided by the Ministry of Public Works and Housing (PUPR). The Vs30 values were interpolated and grouped using modified NEHRP site classes, namely B, BC, C, CD, and D. An empirical relation proposed by Fujimoto and Midorikawa (2006) was applied to estimate site amplification, which was then combined with bedrock PGA to derive surface PGA. The calculated Vs30 ranges from 232 to 900 m/s, with the maximum surface PGA reaching 1.12g at Passo, where Vs30 is 232 m/s. Relatively high PGA is also found at Urimesing, Waihoka, and Hutumuri, where Vs30 is comparatively low. Areas characterized by high PGA together with low Vs30 represent locations with comparatively greater shaking and earthquake-damage potential. These results can serve as preliminary spatial information for prioritizing earthquake mitigation in Ambon City.

Keywords: Ambon City, Vs30, PGA, Damage Potential, Earthquake.

Abstrak

Kota Ambon memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi dan berada pada lingkungan tektonik Busur Banda yang kompleks. Keragaman kondisi geologi serta sifat material dekat permukaan dapat menyebabkan respons guncangan yang berbeda antar lokasi. Penelitian ini menggabungkan kecepatan gelombang geser rata-rata sampai kedalaman 30 m (Vs30) dengan Peak Ground Acceleration (PGA) untuk mengevaluasi potensi kerusakan gempabumi di Kota Ambon. Data yang digunakan terdiri atas 276 titik grid Vs30 dari United States Geological Survey (USGS) dan data PGA dari Kementerian PUPR. Nilai Vs30 diinterpolasi kemudian dikelompokkan berdasarkan kelas situs NEHRP yang dimodifikasi menjadi B, BC, C, CD, dan D. Estimasi faktor amplifikasi dilakukan dengan persamaan empiris Fujimoto dan Midorikawa (2006), kemudian hasilnya dikombinasikan dengan PGA batuan dasar untuk memperoleh PGA permukaan. Hasil pengolahan menunjukkan Vs30 berada pada kisaran 232–900 m/s dan PGA permukaan maksimum mencapai 1,12g di Passo pada Vs30 232 m/s. Nilai PGA yang relatif tinggi juga dijumpai di Urimesing, Waihoka, dan Hutumuri, yang mempunyai Vs30 relatif rendah. Perpaduan PGA tinggi dan Vs30 rendah menunjukkan lokasi dengan tingkat guncangan serta potensi kerusakan yang relatif lebih besar. Hasil tersebut dapat digunakan sebagai informasi awal untuk menentukan wilayah prioritas mitigasi gempabumi di Kota Ambon.

Kata Kunci: Kota Ambon, Vs30, PGA, Potensi Kerusakan, Gempabumi.

1. PENDAHULUAN

Kota Ambon termasuk wilayah di Indonesia timur yang perlu mendapat perhatian dalam kajian bahaya gempabumi. Dari sisi tektonik, kota ini berada pada bagian utara Busur Banda, suatu kawasan dengan susunan struktur geologi yang rumit dan aktivitas

seismik yang tinggi. Kondisi tersebut berkaitan dengan dinamika tektonik dan keberadaan struktur geologi aktif di sekitar Ambon. Kawasan Busur Banda bagian utara diketahui memiliki struktur tektonik aktif yang kompleks, termasuk sistem sesar yang mengakomodasi deformasi regional dan berkontribusi terhadap aktivitas seismik di wilayah tersebut (Zhang dkk., 2024). Akibatnya, kejadian gempabumi dapat memberikan dampak terhadap penduduk, lingkungan, maupun infrastruktur. Salah satu bukti aktivitas tersebut adalah gempabumi Ambon pada 26 September 2019 dengan magnitudo 6,5, yang sumbernya berada sekitar 23 km timur laut Kota Ambon. Gempa utama tersebut diikuti oleh rangkaian gempa susulan. Berdasarkan inversi tensor momen, aktivitas susulan berkaitan dengan reaktivasi dua segmen sesar geser berarah NNW–SSE dan NNE–SSW serta suatu sesar normal berarah E–W. Sesar normal tersebut diperkirakan berkaitan dengan kondisi ekstensional yang muncul seiring deformasi Busur Banda ke arah timur. Interaksi beberapa struktur tersebut memperlihatkan bahwa sistem tektonik Ambon bersifat kompleks (Baskara dkk., 2023; Sahara dkk., 2021). Selain itu, studi mengenai struktur aktif Pulau Ambon melalui kombinasi data seismik dan geodesi juga mengindikasikan keberadaan sesar geser aktif. Sesar tersebut mempunyai laju pergeseran sekitar 4,9 mm/tahun dan interval kejadian berulang sekitar 115 tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa deformasi tektonik masih berlangsung di Pulau Ambon dan akumulasi tegangan pada struktur aktif dapat kembali dilepaskan dalam bentuk gempabumi (Meilano dkk., 2021).

Kajian gempabumi Ambon 2019 juga dilakukan melalui survei mikrotremor dengan pendekatan *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Pendekatan ini menggunakan perbandingan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal untuk memperoleh gambaran respons lokal dinamis. Hasil penelitian memperlihatkan adanya variasi indeks kerentanan seismik dan efek situs pada daerah yang mengalami dampak gempa. Temuan tersebut memperkuat bahwa karakteristik bawah permukaan ikut mengontrol respons tanah ketika menerima energi gelombang seismik, sehingga besarnya guncangan tidak hanya ditentukan oleh sumber gempa (Subakti dan Haurissa, 2022).

Struktur bawah permukaan di sekitar sumber gempabumi Ambon 2019 juga telah dikaji melalui tomografi gempa lokal. Metode tersebut menggunakan kejadian gempa lokal untuk menyusun model tiga dimensi V_p , V_s , dan rasio V_p/V_s . Hasilnya menunjukkan adanya beberapa segmen sesar yang berinteraksi dan pola seismisitas yang dapat dikaitkan dengan variasi struktur serta kecepatan gelombang di bawah permukaan. Temuan tersebut memberikan dasar bahwa variasi sifat fisik bawah permukaan merupakan salah satu aspek penting dalam memahami respons seismik wilayah Ambon. Namun, model tomografi merepresentasikan struktur bawah permukaan pada skala beberapa kilometer, sedangkan parameter V_{s30} dalam penelitian ini digunakan untuk menggambarkan karakteristik lapisan dangkal hingga kedalaman 30 m. Dengan demikian, keduanya memberikan informasi yang berbeda tetapi saling melengkapi dalam interpretasi kondisi bawah permukaan. (Nugraha dkk., 2026).

Meskipun demikian, kajian gempabumi menggunakan HVSr dan tomografi masih belum memberikan informasi yang cukup detail dalam menghubungkan kondisi situs lokal dan besarnya guncangan yang ditimbulkan di permukaan. Penelitian menggunakan HVSr masih terbatas pada titik pengukuran yang terbatas pada satu bagian wilayah di Kota Ambon saja, sehingga belum cukup representatif untuk mewakili seluruh wilayah yang ada. Sedangkan kajian tomografi gempa lokal yang dilakukan mencitrakan heterogenitas bawah permukaan dalam skala regional hingga beberapa kilometer sehingga belum spesifik dalam merepresentasikan variasi material dangkal yang dapat mengontrol respon situs pada kedalaman 30 meter.

Oleh karena itu, integrasi data Vs30 dari USGS dan data PGA batuan dasar dari Kementerian PUPR menjadi penting dilakukan. Data Vs30 memberikan informasi spasial tentang kekakuan material yang dekat permukaan (Hanatha dkk., 2023; Mazanec dkk., 2024; Navarro dkk., 2025). Sedangkan data PGA disediakan oleh Kementerian PUPR melalui peta respons spektrum dan peta bahaya gempa nasional digunakan sebagai acuan dasar dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Namun, data ini masih hanya merepresentasikan percepatan guncangan pada batuan dasar sehingga belum mempertimbangkan perubahan guncangan dekat permukaan. Padahal, kondisi situs lokal dapat memperkuat atau memperlemah percepatan tanah maksimum yang diterima di permukaan melalui proses amplifikasi gelombang seismik (Raharjo dkk., 2024).

Berdasarkan kondisi ini, evaluasi besarnya guncangan di permukaan dengan mempertimbangkan karakteristik situs lokal masih perlu dilakukan untuk melengkapi informasi bahaya gempabumi di Kota Ambon. Menggunakan hubungan empiris faktor amplifikasi berbasis Vs30 yang dikembangkan oleh Fujimoto dan Midorikawa (2006), parameter ini selanjutnya dapat diintegrasikan untuk mengestimasi PGA permukaan yang sudah mempertimbangkan pengaruh karakteristik situs lokal. Pendekatan ini diharapkan mampu melengkapi keterbatasan HVSR yang berbasis titik pengamatan serta tomografi yang berfokus pada struktur bawah permukaan dengan penetrasi kedalaman yang berskala kilometer. Selain itu, pendekatan ini juga akan memberikan distribusi spasial percepatan guncangan permukaan yang mempertimbangkan variasi material skala dangkal secara merata di Kota Ambon.

Integrasi Vs30 dan PGA juga telah diaplikasikan di beberapa daerah di Indonesia dengan tujuan untuk evaluasi pengaruh kondisi situs terhadap distribusi bahaya gempabumi, seperti di Kabupaten Bantul yang menunjukkan bahwa integrasi antara parameter ini mampu menggambarkan variasi amplifikasi dan tingkat guncangan permukaan (Umar dkk., 2021; Nugraheni dkk., 2023). Namun, pendekatan ini belum pernah diterapkan di Kota Ambon. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan data Vs30 dari USGS dan Kementerian PUPR untuk memetakan distribusi PGA permukaan dan menganalisis potensi kerusakan gempabumi di Kota Ambon. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi wilayah dengan kondisi situs lunak dan percepatan tanah maksimum sebagai informasi awal dalam penentuan zona prioritas mitigasi bencana gempabumi di Kota Ambon.

2. METODOLOGI PENELITIAN

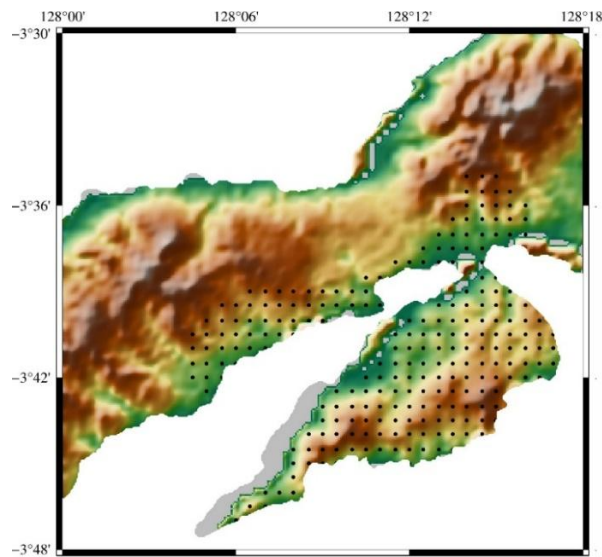
2.1 Lokasi Penelitian

Wilayah penelitian mencakup Kota Ambon. Data Vs30 yang digunakan berasal dari USGS dan terdiri atas 276 titik grid yang tersebar di wilayah penelitian, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.

2.2 Sumber Data

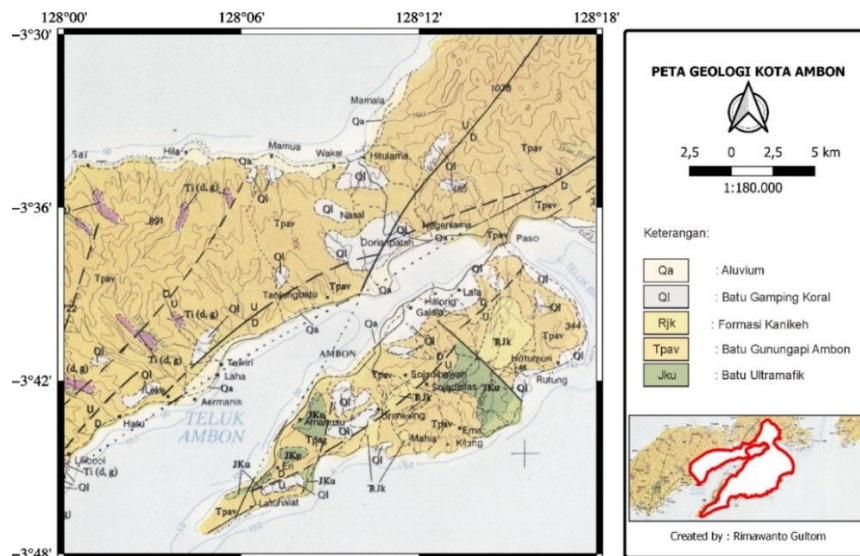
Penelitian memanfaatkan data Vs30 dari *United States Geological Survey* (USGS) yang tersedia pada laman resmi USGS <https://earthquake.usgs.gov/data/vs30/>. Data PGA diperoleh dari sumber resmi Kementerian PUPR melalui portal RSA PUPR 2021 <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. Kedua dataset tersebut diproses secara terpisah sesuai karakteristik masing-masing, kemudian hasilnya digabungkan untuk analisis spasial dan interpretasi.

2.3 Geologi Daerah Penelitian



Gambar 1. Peta sebaran titik daerah penelitian. Titik hitam adalah sebaran titik *grid*.

Untuk mengevaluasi respons situs berdasarkan Vs30, penelitian ini menggunakan peta geologi regional sebagai informasi pendukung. Peta tersebut digunakan untuk membandingkan pola Vs30 dengan kondisi geologi permukaan dan membantu interpretasi karakteristik material bawah permukaan. Berdasarkan peta geologi yang digunakan, wilayah Kota Ambon tersusun atas Formasi Qa (Aluvium), Qt (Batu Gamping Koral), Rjk (Formasi Kanikeh), Tpav (Batu Gunungapi Ambon), dan Jku (Batu Ultramafik) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

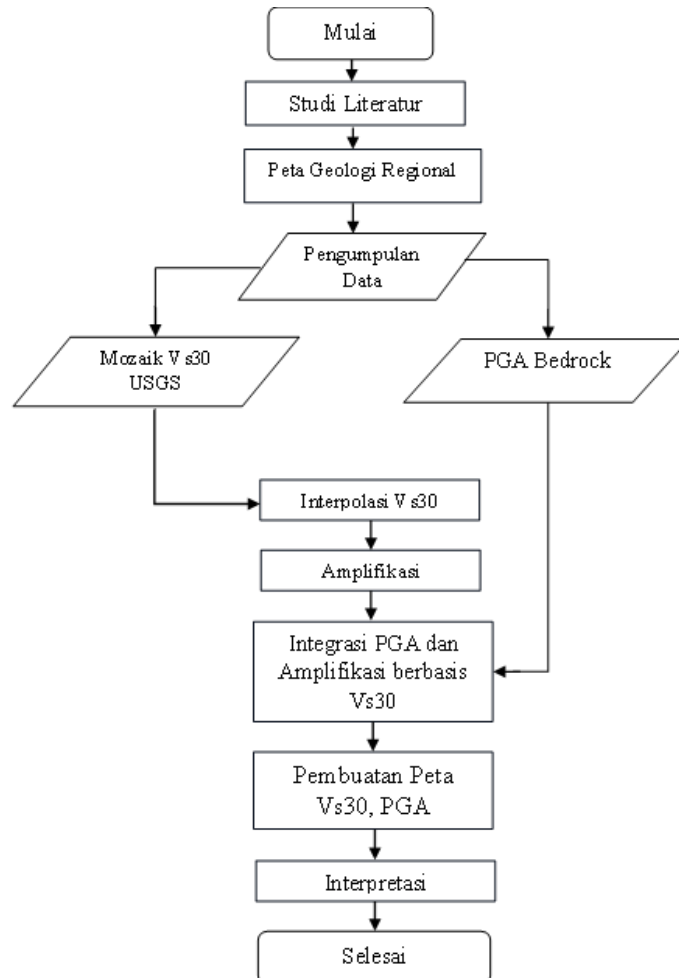


Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian (dimodifikasi dari S.Tjokrosoepetro dkk, 1994)

2.4 Pengolahan Data

Pengolahan diawali dengan memproses data Vs30 dan PGA secara terpisah. Data Vs30 hasil pengunduhan dalam bentuk mozaik diinterpolasi menggunakan Quantum GIS sehingga diperoleh distribusi nilai Vs30 untuk wilayah Kota Ambon. Nilai hasil interpolasi kemudian diolah dengan *Microsoft Excel* untuk menghitung parameter turunan yang diperlukan, termasuk faktor amplifikasi. Penggunaan faktor amplifikasi berbasis Vs30 juga masih menjadi pendekatan yang digunakan dalam mengevaluasi

faktor amplifikasi berbasis Vs30 menggunakan ribuan rekaman gerakan tanah di Selandia Baru (Kuncar dkk., 2026). Faktor amplifikasi dihitung menggunakan hubungan empiris Fujimoto dan Midorikawa (2006). Selanjutnya, faktor tersebut dikombinasikan dengan PGA batuan dasar untuk memperoleh PGA permukaan yang digunakan dalam interpretasi seperti yang ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

2.4.1 Kecepatan Gelombang Geser Kedalaman 30 meter (Vs30)

Vs30 adalah nilai kecepatan gelombang geser rata-rata yang mewakili lapisan tanah sampai kedalaman 30 m dari permukaan (Syafarudin dkk., 2025). Parameter ini digunakan untuk menggambarkan karakteristik respons situs dalam analisis kegempaan (Borcherdt, 2012). Data Vs30 yang telah diekstraksi kemudian dipetakan menggunakan perangkat lunak *Generic Mapping Tools* (GMT). Selanjutnya, nilai Vs30 dikelompokkan berdasarkan kelas situs dan karakteristik material bawah permukaan untuk membantu evaluasi kondisi lokal serta kemungkinan penguatan gerakan tanah (Heath dkk., 2020; Gultom dkk., 2025; Rahman dkk., 2024).

2.4.2 Faktor Amplifikasi

Pengaruh kondisi situs terhadap amplitudo gelombang seismik merupakan fenomena yang berkaitan dengan karakteristik lapisan dangkal, terutama kecepatan gelombang geser dan kontras impedansi antara lapisan permukaan dan material yang lebih kaku. Parameter Vs30 banyak digunakan sebagai salah satu proksi untuk merepresentasikan kondisi tersebut (Stanko dan Markušić., 2024)

Penguatan terjadi pada lapisan sediman lunak yang dangkal dan memiliki kecepatan gelombang geser yang rendah dan cenderung menangkap energi seismik dan berpotensi memperbesar guncangan saat terjadi gempa bumi (Hamed dkk., 2023). Secara empiris, nilai amplifikasi dapat ditentukan menggunakan persamaan Fujimoto dan Midorikawa (2006) yang ditunjukkan oleh Persaman 1. Namun demikian, pendekatan Fujimoto dan Midorikawa (2006) hanya estimasi empiris dan belum di validasi secara langsung sehingga persamaan ini hanya dapat dianggap sebagai estimasi spasial awal. Penerapan persamaan ini dilakukan karena didasarkan pada kesamaan parameter fisik yang digunakan yaitu Vs30 sebagai indikator kekakuan lapisan bawah permukaan dangkal. Persamaan ini juga sudah diterapkan di beberapa wilayah di Indonesia, seperti Bustari dkk. (2022) di kota Bantul dan Gultom dkk. (2026) di wilayah Seram Bagian Barat dalam mengestimasi faktor amplifikasi.

$$\log(F_A) = 2.376 - 0.852 \log(V_{s30}) \quad (1)$$

Keterangan:

FA = Faktor Amplifikasi

Vs30 = Kecepatan Gelombang Geser pada Kedalaman 30 meter.

2.4.3 Percepatan Tanah Maksimum (PGA) Permukaan

Perhitungan nilai percepatan tanah maksimum di permukaan menggunakan nilai dari faktor amplifikasi tanah dan nilai PGA pada batuan dasar yang diperoleh dari Kementerian PUPR. Perhitungan nilai PGA Permukaan menggunakan persamaan empiris dari Midorikawa, yaitu:

$$PGA_{Permukaan} = PGA_{batuan\ dasar} \times F_A \quad (2)$$

Keterangan:

PGA Permukaan = Percepatan Tanah Maksimum di Permukaan

PGA_{batuan dasar} = Percepatan Tanah Maksimum di Batuan Dasar

Tabel 1. Klasifikasi kelas situs tanah berdasarkan nilai Vs30 (dimodifikasi dari Magistrale dkk. (2012) dan FEMA (2020))

Kelas Situs NEHRP	Vs30 (m/s)	Pengembangan NEHRP oleh FEMA/ASCE	Vs30 (m/s)	Deskripsi
A	>1500	A	>1500	Batuan keras (<i>hard rock</i>)
B	760-1500	B	945-1500	Batuan keras menengah (<i>medium hard rock</i>)
		BC	660-945	Batuan lunak (<i>soft rock</i>)
C	360-760	C	460-660	Tanah sangat padat dan atau lempung keras (<i>very dense soil or hard clay</i>)
		CD	315-460	Pasir padat atau atau lempung sangat kaku (<i>dense sand or very stiff clay</i>)
D	180-360	D	225-315	Pasir sedang atau lempung kaku (<i>medium dense or stiff clay</i>)
		DE	180-225	Pasir lepas atau lempung sedang (<i>loose sand or medium stiff clay</i>)
E	180	E	180	Tanah sangat lunak (<i>very loose sand or soft clay</i>)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kecepatan Gelombang Geser (Vs30)

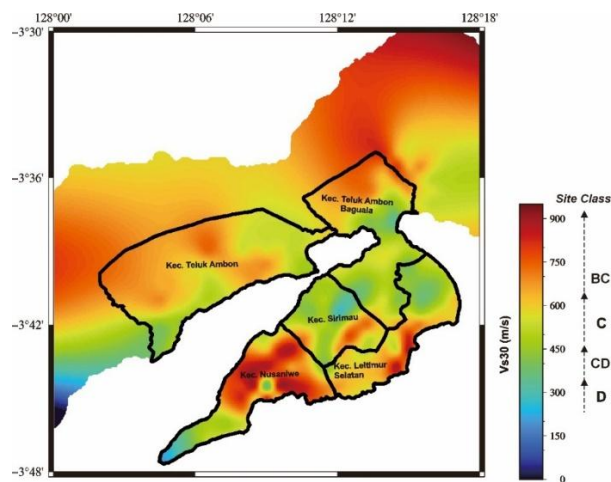
Variasi kondisi bawah permukaan di kota Ambon berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30 meter (Vs30) ditunjukkan oleh Gambar 4. Nilai Vs30 hasil penelitian menunjukkan nilai berada diantara 232 m/s dan 900 m/s,

dengan cakupan kelas situs D, CD, C, dan BC berdasarkan kalsifikasi NEHRP/FEMA yang ditunjukkan pada Tabel 1. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan adanya variasi karakteristik material bawah permukaan di wilayah penelitian.

Rentang Vs30 sebesar 232–315 m/s termasuk kelas D dan cenderung berkaitan dengan material permukaan yang relatif muda, termasuk endapan aluvial. Material seperti pasir, kerikil, lanau, dan lempung pada endapan tersebut umumnya memiliki konsolidasi lebih rendah dibandingkan batuan dasar. Sebaran nilai ini dijumpai pada ujung barat daya Nusaniwe, bagian tengah hingga timur Sirimau, wilayah timur dan selatan Teluk Ambon, serta bagian tengah hingga timur Teluk Ambon Baguala.

Nilai Vs30 antara 315–460 m/s termasuk zona CD dan menunjukkan material dengan tingkat kekakuan menengah. Rentang ini dapat mencerminkan tanah yang sangat padat, sedimen yang telah mengalami konsolidasi, atau batuan yang mengalami pelapukan. Jika dibandingkan dengan kondisi geologi pada Gambar 2, nilai tersebut diperkirakan berhubungan dengan batuan sedimen dan material vulkanik yang mengalami pelapukan. Lapisan sampai 30 m masih memungkinkan dipengaruhi regolit dan zona lapuk sehingga belum seluruhnya merepresentasikan batuan segar. Zona ini terutama dijumpai di timur laut Sirimau, bagian tengah dan tenggara Teluk Baguala, barat daya Teluk Ambon, timur laut Leitimur Selatan, serta bagian selatan dan barat daya Nusaniwe.

Pada Vs30 sebesar 460–660 m/s, lokasi termasuk kelas C yang menggambarkan tanah sangat padat dan/atau lempung keras. Kondisi tersebut diperkirakan berkaitan dengan batuan sedimen yang telah terkonsolidasi, batuan vulkanik yang mengalami pelapukan, atau bagian atas batuan dasar yang telah mengalami rekahan maupun alterasi. Sementara itu, rentang 660–945 m/s termasuk kelas BC dan menunjukkan kondisi batuan lunak dengan kekakuan lebih tinggi daripada kelas C. Secara geologi, zona ini diduga berkaitan dengan batuan yang lebih terkonsolidasi, antara lain batuan Gunungapi Ambon, batugamping koral yang telah tersementasi kuat, dan batuan ultramafik yang relatif segar. Nilai Vs30 tinggi tersebut tersebar terutama di barat laut dan bagian tengah Nusaniwe, utara Sirimau, wilayah barat hingga utara Teluk Ambon, utara Teluk Ambon Baguala, serta tenggara Leitimur Selatan.

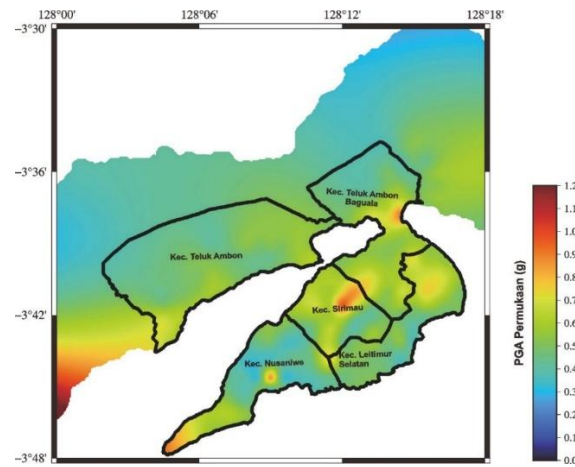


Gambar 4. Peta Vs30 daerah penelitian

3.2 Percepatan Tanah Maksimum (PGA)

Sebaran *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Kota Ambon memperlihatkan variasi nilai secara spasial seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Beberapa bagian wilayah memiliki percepatan relatif tinggi dan membentuk zona-zona lokal. Pola tersebut kemudian dibandingkan dengan distribusi Vs30 untuk melihat keterkaitan antara tingkat

guncangan dengan karakteristik situs. Pendekatan yang menggunakan V_s sebagai indikator kondisi tanah dan kontras impedansi juga telah diterapkan dalam kajian respons seismik oleh Gobbi dkk. (2020) dan Shingaki dkk. (2018).



Gambar 5. Peta PGA Permukaan daerah penelitian

Pada bagian barat daya Kecamatan Nusaniwe, PGA berada pada kisaran 0,35–0,97g dan membentuk salah satu zona percepatan relatif tinggi. Daerah tersebut berasosiasi dengan V_{s30} 232–315 m/s (kelas D) serta zona CD 315–460 m/s di bagian selatan. Nilai PGA maksimum sebesar 0,97g ditemukan di Kelurahan Urimesing dan bertepatan dengan nilai V_{s30} yang rendah, yaitu 274 m/s. Pola tersebut menunjukkan kemungkinan kontribusi kondisi material dangkal terhadap respons guncangan. Meskipun demikian, hubungan PGA dan V_{s30} tidak dapat dipandang sebagai hubungan tunggal karena PGA juga dipengaruhi karakteristik sumber, jarak terhadap sumber gempa, serta proses perambatan gelombang. Secara geologi, wilayah ini berada pada lingkungan batuan vulkanik dengan variasi litologi, tingkat pelapukan, dan ketebalan material penutup. Sebaliknya, nilai PGA minimum sebesar 0,35g ditemukan di Amahusu dengan V_{s30} maksimum 900 m/s. Perbedaan kedua lokasi tersebut memperlihatkan variasi kondisi bawah permukaan di wilayah Nusaniwe.

Di Kecamatan Sirimau, khususnya sektor tengah sampai timur laut, PGA berkisar 0,39–0,96g. Nilai maksimum 0,96g terdapat di Kelurahan Waihoka dan berasosiasi dengan V_{s30} 279 m/s, yang merupakan nilai terendah pada lokasi tersebut. Kondisi ini menunjukkan bahwa material dengan kekakuan relatif rendah dapat memberikan respons guncangan yang lebih besar. Sebaliknya, PGA minimum sebesar 0,39g dijumpai di Soya dengan V_{s30} 790 m/s. Walaupun wilayah Soya didominasi batuan Gunungapi Ambon, nilai kekakuannya tetap dapat dipengaruhi oleh pelapukan, rekahan, dan kondisi geologi lainnya. Perbedaan Waihoka dan Soya memperlihatkan heterogenitas kondisi bawah permukaan di Kecamatan Sirimau.

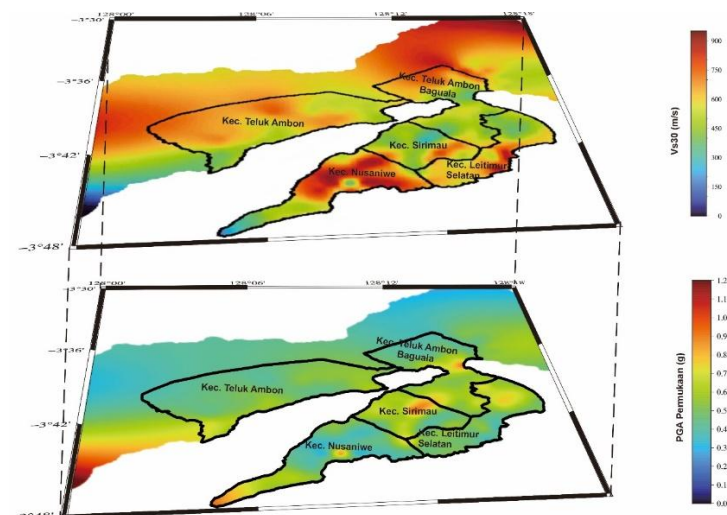
Wilayah tengah hingga timur laut Kecamatan Letimur Selatan memperlihatkan PGA sekitar 0,35–0,92g. Nilai tertinggi, 0,92g, berada di Desa Hutumuri dan berkaitan dengan V_{s30} 294 m/s. Berdasarkan peta geologi regional, Hutumuri tersusun oleh satuan batuan gunungapi dan batugamping koral di kawasan pesisir. Variasi litologi dan tingkat pelapukan dapat menghasilkan perbedaan sifat dinamis material bawah permukaan; keberadaan rongga pada batugamping, misalnya, menyebabkan responsnya tidak selalu sama dengan batuan yang lebih kompak. Kedekatan suatu lokasi dengan struktur sesar juga tidak cukup untuk menyatakan bahwa sesar tersebut menjadi penyebab langsung tingginya PGA karena faktor sumber gempa, mekanisme patahan, dan karakteristik propagasi gelombang perlu dipertimbangkan. PGA minimum sebesar 0,35g terdapat di Hukurila dengan V_{s30} 900 m/s.

Di Kecamatan Teluk Ambon, terutama sektor timur dan selatan, PGA berada pada kisaran 0,42–0,67g. Nilai tertinggi sebesar 0,767g di Laha dan berkaitan dengan Vs30 420 m/s. Wilayah Laha didominasi satuan aluvium yang tersusun atas lanau, pasir, lempung, dan kerikil. Material aluvial tersebut dapat mempunyai respons seismik yang berbeda dari batuan yang lebih kompak. Nilai PGA terendah, 0,41g, ditemukan di Hative Besar dengan Vs30 738 m/s, yang menunjukkan material dengan tingkat kekakuan relatif lebih tinggi.

Pada bagian timur hingga tenggara Kecamatan Teluk Ambon Baguala, PGA berada pada rentang 0,38–1,12g. Nilai tertinggi mencapai 1,12g di Desa Passo dan berasosiasi dengan Vs30 terendah, yaitu 232 m/s. Nilai Vs30 tersebut menunjukkan kondisi material bawah permukaan yang relatif kurang kaku sehingga respons terhadap gelombang seismik dapat lebih besar. Secara geologi regional, wilayah Passo didominasi batuan Gunungapi Ambon. Selain litologi, struktur geologi di sekitar wilayah penelitian merupakan faktor yang perlu diperhatikan ketika menafsirkan pola PGA. Di sisi lain, PGA minimum sebesar 0,38g terdapat di Waiheru dengan Vs30 822 m/s. Pola ini memperlihatkan kecenderungan bahwa lokasi dengan Vs30 lebih tinggi dalam dataset penelitian cenderung mempunyai PGA lebih rendah.

Untuk memperkuat interpretasi pola spasial PGA permukaan, distribusi PGA selanjutnya dibandingkan dengan kondisi geologi regional Kota Ambon. Peta geologi digunakan sebagai informasi pendukung untuk melihat apakah zona dengan PGA relatif tinggi memiliki keterkaitan spasial dengan satuan geologi tertentu. Hasil overlay distribusi Vs30 dan PGA permukaan ditunjukkan pada Gambar 6.

Hasil integrasi antara Vs30 dan PGA di Kota Ambon kemudian dikomparasi dampak gempabumi Ambon 2019. Komparasi ini dilakukan untuk mengevaluasi apakah zona dengan PGA permukaan relatif tinggi dan nilai Vs30 rendah mempunyai kesesuaian spasial dengan wilayah yang dilaporkan mengalami dampak guncangan lebih besar. Perlu ditekankan bahwa komparasi ini merupakan validasi kualitatif terhadap pola spasial hasil penelitian dan bukan analisis hubungan kausal maupun inventarisasi kerusakan bangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Passo memiliki PGA permukaan maksimum sebesar 1,12 g dengan nilai Vs30 sebesar 232 m/s, sedangkan Urimesing (0,97 g; Vs30 274 m/s), Waihoka (0,96 g; Vs30 279 m/s), dan Hutumuri (0,92 g; Vs30 294 m/s) juga termasuk zona dengan PGA permukaan relatif tinggi. Lokasi-lokasi tersebut berada pada kelas situs D yang menunjukkan material bawah permukaan dengan kekakuan relatif rendah sehingga berpotensi memberikan amplifikasi guncangan yang lebih besar dibandingkan wilayah dengan Vs30 lebih tinggi.



Gambar 6. Peta overlay Vs30 (bagian atas) dan PGA Permukaan (bagian bawah) daerah penelitian

Pola tersebut secara umum konsisten dengan hasil kajian pascagempa Ambon 2019 yang menunjukkan bahwa tingkat kerusakan tidak hanya dipengaruhi oleh sumber gempa, tetapi juga oleh variasi kondisi situs dan karakteristik material dekat permukaan (Subakti dan Haurissa, 2022; Baskara dkk., 2023). Beberapa wilayah yang dilaporkan mengalami dampak guncangan signifikan berada pada kawasan dengan kondisi geologi yang didominasi endapan aluvial maupun batuan vulkanik yang telah mengalami pelapukan, sehingga memiliki karakteristik dinamis yang berbeda dibandingkan batuan yang lebih kompak.

Meskipun demikian, kesesuaian antara zona PGA tinggi dengan wilayah terdampak tidak dapat diartikan sebagai hubungan langsung terhadap tingkat kerusakan infrastruktur. Kerusakan bangunan juga dipengaruhi oleh intensitas guncangan, kualitas konstruksi, tipe bangunan, kondisi geoteknik setempat, dan kedekatan terhadap sumber gempa. Oleh karena itu, hasil penelitian ini lebih tepat diinterpretasikan sebagai identifikasi awal wilayah yang memiliki potensi guncangan relatif lebih tinggi berdasarkan kombinasi PGA batuan dasar dan karakteristik situs yang direpresentasikan oleh Vs30.

4. KESIMPULAN

Hasil integrasi Vs30 USGS dengan Percepatan Tanah Maksimum (Peak Ground Acceleration/PGA) memperlihatkan adanya perbedaan kondisi situs dan tingkat guncangan di Kota Ambon. Nilai Vs30 berada pada kisaran 232–900 m/s dan mencakup kelas situs D, CD, C, hingga BC. Nilai yang lebih rendah menunjukkan material yang relatif kurang kaku, sedangkan nilai yang lebih tinggi menunjukkan kondisi material yang relatif lebih kaku.

PGA permukaan memiliki pola sebaran yang heterogen. Nilai maksimum 1,12g berada di Passo dan berasosiasi dengan Vs30 232 m/s. Zona PGA tinggi lainnya terdapat di Urimesing (0,97g; Vs30 274 m/s), Waihoka (0,96g; Vs30 279 m/s), dan Hutumuri (0,92g; Vs30 294 m/s). Sebaliknya, lokasi dengan Vs30 relatif tinggi seperti Amahusu, Soya, Hukurila, Hative Besar, dan Waiheru menunjukkan PGA yang lebih rendah.

Kombinasi antara PGA yang tinggi dan Vs30 yang rendah dapat digunakan sebagai indikator awal untuk mengenali wilayah dengan potensi guncangan serta potensi kerusakan yang relatif lebih besar, khususnya pada area yang memiliki bangunan dan infrastruktur rentan. Dengan pendekatan tersebut, integrasi kedua parameter dapat mendukung penentuan zona prioritas untuk mitigasi gempabumi di Kota Ambon.

Perlu ditekankan bahwa istilah potensi kerusakan pada penelitian ini menunjukkan indikasi yang diturunkan dari karakteristik guncangan dan kondisi situs, bukan hasil perhitungan kerusakan bangunan secara langsung. Analisis kerusakan yang lebih spesifik memerlukan informasi tambahan mengenai kepadatan bangunan, tipe dan kerentanan struktur, intensitas guncangan, serta parameter geoteknik lainnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Pattimura (LPPM UNPATTI) dengan Skema Penelitian Dasar Unggulan UNPATTI (PDUU), Program Penelitian Peningkatan Kapasitas Dosen Pemula (PKDP) dengan Nomor SK : 1286/UN13/SK/2026 sebagai sumber pemberi dana penelitian. Terimakasih juga kepada tim dan semua pihak yang terlibat atas kontribusinya dalam penulisan artikel ini.

REFERENCES

- Baskara, A. W., Sahara, D. P., Nugraha, A. D., Rusdin, A. A., Zulfakriza, Widiyantoro, S., Triyoso, W., Priyono, A., Puspito, N. T., Shiddiqi, H. A., Kusumawati, D., Rudyawan, A., & Elly, E. (2023). Aftershock study of the 2019 Ambon earthquake using moment tensor inversion: Identification of fault reactivation in northern Banda, Indonesia. *Earth, Planets and Space*, 75, Article 124. doi: <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01860-1>
- Bustari, A. A., & Wibowo, N. B. (2022). Pemetaan sebaran nilai Vs30, faktor amplifikasi tanah, dan peak ground acceleration wilayah Bantul Timur. *Cakrawala Jurnal Ilmiah Bidang Sains*, 1(2).doi:<https://dx.doi.org/10.28989/cakrawala.v1i2.1436>
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2020). NEHRP recommended seismic provisions for new buildings and other structures (FEMA P-2082). Washington, DC: FEMA
- Fujimoto, K., & Midorikawa, S. (2006). Relationship between average shear-wave velocity and site amplification inferred from strong motion records at nearby station pairs. *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, 6(1), 11–22.doi: <https://doi.org/10.5610/jaee.6.11>
- Gobbi, S., Lenti, L., Santisi d'Avila, M. P., Semblat, J.-F., & Reiffsteck, P. (2020). Influence of the variability of soil profile properties on weak and strong seismic response. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 135, 106200.doi: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106200>
- Gultom, R., Pakpahan, S., Pattimura, N. S., Ratumanan, R. C. F., & Indriati, S. (2026). Analisis Spasial Respon Situs Berdasarkan Vs30 USGS, Estimasi Amplifikasi dan Periode Dominan di Seram Bagian Timur. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(2), 906–913.doi: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i2.1793>
- Gultom, R., & Pakpahan, S. (2024). Analysis of Earthquake Hazard Potential in Cimahi City and Surrounding Areas Using Microtremor Horizontal to Vertical Spectral Ratio Method. *Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia*, 7(01), 001–012.doi: <https://doi.org/10.56099/jrgi.v7i01.161>
- Hamed, A., El-Shafie Fat-Helbary, R., Mohamed, M. E.-A., & El-Faragawy, K. O. (2023). Seismic site characteristics for geotechnical engineering purposes: Case study, South of Ras Samadai, Red Sea, Egypt. *Journal of Applied Geophysics*, 219, 105223.doi:<https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2023.105223>
- Hanatha, F. D., Indriatmoko, T. W., & Qurratu'aeni, W. S. (2023). Analysis of soil and rock strength using Vs30 value and ground shear strain based on microtremor data in the Pindul Cave area, Gunung Kidul, Yogyakarta. *Jurnal Geosaintek*, 9(1), 29–36.doi:<http://dx.doi.org/10.12962%2Fj25023659.v9i1.16257>
- Heath, D., Wald, D. J., Worden, C. B., Thompson, E. M., and Scmocyk, G. (2020). A Global Hybrid VS30 Map with a Topographic-Slope-Based Default and Regional Map Insets”, *Earthquake Spectra*, vol. 36, 3: pp. 1570-1584.
- Kuncar, F., Bradley, B. A., & de la Torre, C. A. (2026). Validating VS30-based site amplification factors in hybrid broadband ground-motion simulation of small-magnitude earthquakes in New Zealand. *Earthquake Spectra*, 42(1), e70005.doi:<https://doi.org/10.1002/esp4.70005>
- Magistrale, H., Rong, Y., Silva, W., & Thompson, E. (2012). A site response map of the continental US. In *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering (15th WCEE)*, Lisbon –Portugal.doi: <https://doi.org/10.13140/2.1.1679.6161>
- Mazanec, M., Valenta, J., & Málek, J. (2024). Does VS30 reflect seismic amplification? Observations from the West Bohemia Seismic Network. *Natural Hazards*, 120, 12181–12202.doi:<https://doi.org/10.1007/s11069-024-06679-x>
- Meilano, I., Abidin, H. Z., Sagiya, T., Agustina, D. K., & Hanifa, N. R. (2021). Source characteristics of the 2019 Mw 6.5 Ambon, eastern Indonesia, earthquake inferred from seismic and geodetic data. *Seismological Research Letters*, 92(6), 3339–3348.doi:<https://doi.org/10.1785/0220210021>

- Navarro, M., López, F., Martínez-Pagán, P., García-Jerez, A., Martínez-Segura, M. A., Oda, Y., & Enomoto, T. (2025). Estimating VS30 structure from topographic and geological data in the southeast of Spain. *Engineering Geology*, 351, 108037.doi:<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2025.108037>
- Nugraha, A. D., Muttaqy, F., Ry, R. V., Supendi, P., Rosalia, S., Sahara, D. P., Baskara, A. W., Muhari, A., Priyono, A., Zulfakriza, Z., Widiyantoro, S., Puspito, N. T., & Elly, E. (2026). Seismic velocity structure beneath the source region of the 2019 Ambon earthquake (Mw 6.5), Indonesia, from local earthquake tomography. *Earth, Planets and Space*, 78, 76.doi: <https://doi.org/10.1186/s40623-026-02391-1>
- Nugraheni, A. S., Wibowo, N. B., & Yudianto, D. (2023). Modeling of liquefaction potential zone using the global geospatial model (Case study: Special Region of Yogyakarta and Klaten Regency). *Jurnal Geofisika*, 21(1), 1–8.doi: <http://dx.doi.org/10.36435/jgf.v21i1.529>
- Rahman, A. S., Sutiyono, S., Cindiwati, C., & Alfandy, S. (2024). Identifikasi klasifikasi jenis tanah berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser Vs30 di daerah Bekasi. *Buletin GAW Bariri (BGB)*, 5(2), 1–6.doi:<https://doi.org/10.31172/bgb.v5i2.121>
- Raharjo, F. D., Syafriani, & Ahadi, S. (2024). Estimation model Peak Ground Acceleration at bedrock and surface of the Pasaman Barat earthquake on February 25, 2022 Mw 6.1.doi:<http://dx.doi.org/10.36435/jgf.v21i1.548>
- Sahara, D. P., Nugraha, A. D., Muhari, A., Rusdin, A. A., Rosalia, S., Priyono, A., Zulfakri, Z., Widiyantoro, S., Puspito, N. T., Rietbrock, A., Lesmana, A., Kusumawati, D., Ardianto, A., Baskara, A. W., Halauwet, Y., Shiddiqi, H. A., Rafie, M. T., Pradisti, R., Mozef, P. W., Tuakia, M. Z., & Elly, E. (2021). Source mechanism and triggered large aftershocks of the Mw 6.5 Ambon, Indonesia earthquake. *Tectonophysics*, 799, 228709.doi: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228709>
- Stanko, D., & Markušić, S. (2024). Site amplification model for Croatia estimated by random vibration theory-based site response analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 179, 108547.doi:<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108547>
- Subakti, H., & Haurissa, A. (2022). Studi mikrotremor di wilayah kerusakan akibat gempa bumi Ambon 26 September 2019 menggunakan metode horizontal to vertical spectral ratio (HVSr). *PROGRESS: Jurnal Geofisika*, 1(1), 29–49. Retrieved from <https://stmkg.balai2bmkg.id/index.php/pjg/article/view/21>
- Syafarudin, I., Raiha, M. K., Zahara, F., Azmi, S. H. N., Budin, C. S., & Zulfakriza. (2025). Investigasi karakteristik bawah permukaan di sekitar sumber gempa Sumedang 31 Desember 2023 menggunakan parameter Vs 30 dan kurva HVSr guna pemetaan daerah rawan potensi gempa. *Jurnal Geofisika*, 22(2), 22–26. <http://dx.doi.org/10.36435/jgf.v22i2.637>
- Tjokrosapoetro, S., Rusmana, E., & Suharsono. (1994). *Geologi Lembar Ambon, Maluku*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, skala 1:250.000.
- Umar, U., Niyartama, T. F., & Wibowo, N. B. (2021). Analisis indeks bahaya gempa bumi berdasarkan PGA permukaan di Kecamatan Sanden Kabupaten Bantul D.I. Yogyakarta. *Sunan Kalijaga Journal of Physics*, 3(2), 70–78.doi: <https://doi.org/10.14421/physics.v3i2.2314>
- Zhang Z; Yang X; Mooney WD; Bell RE; Zhao S; Lin J; Zheng T; Xu H (2024) An Integrated Study of Age and Formation of the Aru Trough, Eastern Banda Arc, Indonesia: Implications for Seismic Hazards. *Tectonics*, 43, (9).doi:<https://doi.org/10.1029/2024TC008449>