

PEMANFAATAN ANALISIS PERAMBATAN GELOMBANG SEISMIK DAN IMPLEMENTASINYA PADA STRUKTUR BANGUNAN

Fazriyati Utami¹, Lindung Zalbuin Mase^{1*}, Fepy Supriani¹, Yoka Mahendra²

¹Program Studi Teknik Sipil Universitas Bengkulu, Bengkulu, 38371, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ratu Samban, Bengkulu, 38618, Indonesia

*E-mail penulis korespondensi: lmase@unib.ac.id

ABSTRAK

Kota Bengkulu dikategorikan sebagai wilayah dengan intensitas gempa yang tinggi di Indonesia. Salah satu wilayah strategis di Kota Bengkulu yaitu Kecamatan Singaran Pati. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran parameter gempa dan implementasinya pada struktur bangunan di Kecamatan Singaran Pati, Kota Bengkulu. Penerapan analisis perambatan gelombang seismic satu dimensi khususnya model Pressure Dependent Hyperbolic (PDH) dilakukan. *Model Pressure Dependent Hyperbolic* (PDH) merupakan implementasi fungsi hiperbolik dalam mereplikasi karakter nonlinier tanah yang disebabkan beban dinamik. Analisis respons seismik yang dilakukan menghasilkan Peak Ground Acceleration (PGA), percepatan respons spektra periode pendek 0,2 detik (S_s), percepatan respons spektra periode panjang 1 detik (S_l), serta faktor perbesaran gelombang (AF). Parameter gempa tersebut merupakan interpretasi dari adanya potensi perambatan gelombang seismic. Parameter gempa tersebut dipetakan secara dua dimensi. Peta parameter percepatan gempa ini kemudian dijadikan sebagai acuan penentuan desain respons spektra untuk Kecamatan Singaran Pati. Desain respons spektra tersebut diimplementasikan pada struktur bangunan. Hasil analisis struktur menunjukkan nilai *stress ratio* (R) tidak lebih dari 1, sehingga struktur dinyatakan aman. Koefisien determinasi (R^2) untuk gaya-gaya dalam menggunakan desain respons spektra hasil perambatan gelombang dan SNI 1726-2019 menunjukkan kemiripan, ini berarti penggunaan desain respons spektra hasil analisis seismik pada penelitian ini dapat diterima.

Kata kunci : Perambatan Gelombang Satu Dimensi, Gelombang Seismik, Singaran Pati, Struktur Bangunan

ABSTRAK

Bengkulu City is categorized as high earthquake intensity area in Indonesia. One of the strategic areas in Bengkulu City is Singaran Pati District. This study aims to determine the distribution of earthquake parameters and their implementation on building structures in Singaran Pati District, Bengkulu City. The research was conducted by applying a one-dimensional Nonlinear seismic wave propagation model of Pressure Dependent Hyperbolic (PDH). Pressure Dependent Hyperbolic (PDH) model focuses on implementing hyperbolic functions to simulate Nonlinear soil behavior due to dynamic loads. Seismic response analysis performed resulted in Peak Ground Acceleration (PGA), acceleration of response spectra in short period of 0.2 seconds (S_s), acceleration of response spectra in long period of 1 second (S_l), and amplification factor (AF). The parameters of the earthquake are the interpretation of seismic wave propagation. The parameters of the earthquake are mapped in two dimensions. The parameters of seismic map is then used for determining the response spectrum design for Singaran Pati District. The result of structural analysis shows that The Stress Ratio (R) value is not more than 1, so the structure is safe. The coefficient of determination (R^2) for the internal forces by using spectrum design from wave propagation and SNI 1726-2019 shows similarities, this means that the use of the spectrum design as a result of seismic analysis in this study is acceptable.

Keywords: One-Dimensional Wave Propagation, Seismic Wave, Singaran Pati, Building Structure.

1. PENDAHULUAN

Kota Bengkulu dikategorikan sebagai wilayah dengan intensitas gempa tinggi di Indonesia. Intensitas bencana alam setiap tahunnya di Kota Bengkulu, khususnya gempa bumi terus mengalami peningkatan [1]. Intensitas kerusakan dan kegagalan struktur bangunan akibat gempa adalah hal yang seharusnya dapat diminimalisir dengan perencanaan tata ruang yang memperhatikan aspek kegempaan. Selain kerusakan infrastruktur, gempa bumi juga membawa dampak pada kehidupan sosial ekonomi masyarakat [2]. Mase [3] menyatakan bahwa Kota Bengkulu dikategorikan sebagai wilayah dengan intensitas gempa tinggi di Indonesia.

Salah satu kecamatan di Kota Bengkulu yang perlu mendapat perhatian dalam perencanaan tata ruang wilayah yang memperhatikan aspek kegempaan yaitu Kecamatan Singaran Pati. Studi kegempaan di Kecamatan Singaran Pati pernah dilakukan oleh Apriani [4]. Hasil penelitian Apriani [4] tersebut dapat digunakan sebagai data *input* untuk menganalisis sebaran respons seismik. Analisis dilakukan menggunakan analisis gelombang gempa satu dimensi *Nonlinear* jenis *Pressure Dependent Hyperbolic* (PDH) yang dikembangkan oleh Hashash dan Park [5]. Analisis tersebut menghasilkan parameter-parameter gempa. Data parameter gempa yang diperoleh dapat disajikan dalam bentuk peta dua dimensi desain percepatan gempa. Peta tersebut dapat digunakan untuk menentukan desain spektra lokal di Kecamatan Singaran Pati. Desain spektra lokal tersebut dapat diimplementasikan pada bangunan-bangunan yang akan dibangun di wilayah ini.

Hasil dari penelitian dapat menjadi rujukan bagi para pelaku konstruksi dalam menentukan percepatan gempa untuk diaplikasikan pada perencanaan struktur bangunan. Perencanaan bangunan tahan gempa sangat diperlukan, terutama di Kecamatan Singaran Pati yang merupakan wilayah potensial bagi perkembangan ekonomi masyarakat Kota Bengkulu. Tata wilayah yang aman dan nyaman, serta mempertimbangkan bahaya dari perambatan gelombang seismik akan menciptakan lingkungan yang kondusif bagi masyarakat di Kecamatan Singaran Pati, Kota Bengkulu.

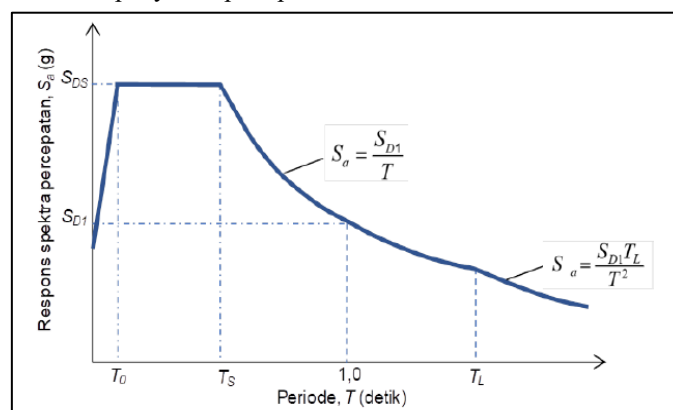
2. ANALISIS PERAMBATAN GELOMBANG SEISMIK *NONLINEAR* SATU DIMENSI MODEL *PRESSURE DEPENDENT HYPERBOLIC* (PDH)

Analisis gelombang seismik satu dimensi digunakan dalam perambatan secara vertikal untuk gelombang geser horizontal yang melewati lapisan-lapisan tanah [6]. *Pressure Dependent Hyperbolic* (PDH) merupakan salah satu jenis dari perambatan gelombang seismik *nonlinear* satu dimensi. Model ini pertama kali diperkenalkan oleh Duncan dan Chang [7], selanjutnya dimodifikasi oleh para peneliti dan kemudian Hashash dan Park mengembangkannya dengan *software Deepsoil* (2001). Model *Pressure Dependent Hyperbolic* (PDH) merupakan implementasi fungsi hiperbolik dalam mereplikasi karakter nonlinier tanah yang disebabkan beban dinamik. Model ini mengutamakan *hysteresis loop* saat pembebanan siklik sebagai *backbone curve* yang diinterpretasi sebagai fungsi hiperbolik. *Backbone curve* secara realistis dapat menyesuaikan tegangan geser (τ) dan regangan geser (γ), bergantung pada kondisi asli tanah selama diberi pembebanan siklik.

Misliniyati dkk. [8] menyimpulkan bahwa, secara keseluruhan, model *extended hyperbolic* adalah model analisis respons seismik satu dimensi yang paling baik dalam memberikan prediksi percepatan gempa. Model *extended hyperbolic* ini adalah sama dengan model *Pressure Dependent Hyperbolic* (PDH) pada perambatan gelombang seismik satu dimensi *Nonlinear* diimplementasikan pada studi analisis respons seismik yang dilakukan di Kecamatan Singaran Pati, Kota Bengkulu. Model ini fokus mengimplementasi fungsi hiperbolik dalam menginterpretasi perilaku *nonlinear* tanah karena pembebanan dinamik [9]. Perambatan gelombang seismik dari batuan dasar hingga mencapai permukaan tanah memerlukan penyidikan respons tanah *nonlinier* dalam memprediksi sifat dinamis tanah dengan tingkat *nonlinier* cukup tinggi [5]. Model PDH juga menitikberatkan pada kurva *backbone* yang dapat diandalkan untuk menangkap perilaku tanah *nonlinear* selama muatan dinamis. Selanjutnya, model ini dapat menyelaraskan untuk tekanan geser (τ) dan regangan geser (γ) sesuai dengan hasil tes laboratorium secara realistis.

3. DESAIN RESPONS SPEKTRA

Respons spektra (Gambar 1) merupakan suatu spektra yang penyajiannya berbentuk kurva gambaran periode struktur (T), terhadap respons maksimum berdasarkan rasio redaman dan gelombang gempa tertentu. Percepatan spektra pada permukaan tanah secara umum memiliki peningkatan. Percepatan spektra yang lebih tinggi dibandingkan gelombang input, kemungkinan merupakan akibat dari sifat-sifat material penyusun perlapisan tanah.



Gambar 1. Kurva Umum Desain Respons Spektra [10]

4. METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Studi ini dilakukan di Kecamatan Singaran Pati Penyebaran titik lokasi penelitian disajikan pada Gambar 2 di bawah ini. Area studi merupakan area konservasi yang sangat terbatas untuk dieksplorasi. Oleh karena itu, pemilihan titik lokasi penyelidikan tanah harus seminimal mungkin tetapi masih dapat mewakili secara umum. Selain itu, wilayah konservasi ini merupakan wilayah yang relatif homogen. Dengan demikian, pengambilan satu titik lokasi tersebut, dianggap masih relevan dengan kondisi lapangan.



Gambar 2. Lokasi Penelitian (Sumber: Google Maps, 2021)

4.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian meliputi analisis respons seismik satu dimensi *nonlinear* dan analisis desain respons spektra dari perambatan gelombang. Tahap analisis pertama adalah analisis perambatan gelombang respons seismik *nonlinear* satu dimensi menggunakan model *Pressure Dependent Hyperbolic* (PDH). Analisis diawali dengan memodelkan profil pelapisan tanah dengan mempertimbangkan karakteristik tanah pada setiap lapisan. Profil pelapisan tanah dimodelkan dengan memperhitungkan parameter-parameter tanah, seperti tebal setiap lapisan (h), jenis tanah, berat isi (γ), kecepatan gelombang geser (V_s), serta kedalaman batuan dasar. Parameter dinamis tanah meliputi rasio redaman (ξ) dan rasio modulus geser (G/G_{max}) ditetapkan mengikuti jenis tanah. Tanah lempung (kohesif) memanfaatkan kurva G/G_{max} curve yang memperhitungkan nilai indeks plastisitas (PI) dari Vucetic dan Dobry [11]. Tanah berpasir (granular) memanfaatkan kurva G/G_{max} curve dari Seed dan Idriss [12]. Tahap selanjutnya yaitu memasukkan parameter *bedrock* yang meliputi kecepatan gelombang geser (V_s), rasio redaman (ξ) dan berat isi tanah (γ). Tahap selanjutnya yaitu menambahkan *input motion*. *Input motion* yang digunakan yaitu gelombang gempa *synthetic* Bengkulu-Mentawai 2007 hasil penelitian oleh Mase dan Somantri [13] Tahapan terakhir yaitu analisis dengan merambatkan gelombang gempa. Hasil analisis gelombang gempa *nonlinear* satu dimensi model *Pressure Dependent Hyperbolic* (PDH) diolah sehingga menghasilkan parameter-parameter seismik yang terdiri dari percepatan respons spektra periode pendek 0,2 detik (S_s) dan periode panjang 1 detik (S_l), *Peak Ground Acceleration* (PGA), serta faktor perbesaran gelombang gempa (AF).

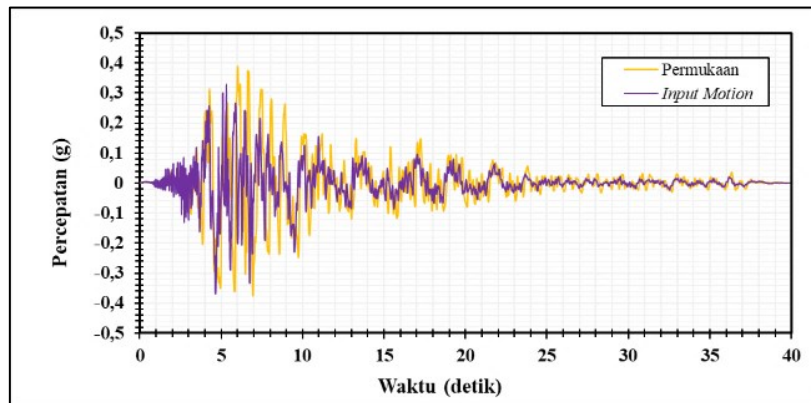
Tahapan analisis kedua adalah analisis desain respons spektra hasil perambatan gelombang. Analisis respons spektra hasil perambatan gelombang terdiri dari beberapa tahapan yaitu pengolahan *output* PDH dan diakhiri dengan pembuatan desain respons spektra. Tahapan pertama adalah *output* PDH diproses hingga menghasilkan parameter-parameter seismik seperti percepatan respons spektra periode pendek 0,2 detik (S_s) dan periode panjang 1 detik (S_l), *Peak Ground Acceleration* (PGA), dan faktor perbesaran gelombang atau amplifikasi (AF). Selanjutnya, pembuatan desain respons spektra untuk Kecamatan Singaran Pati, Kota Bengkulu. Prosedur perhitungan mengikuti ketentuan berdasarkan SNI 1726:2019.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Respons Seismik Permukaan Tanah

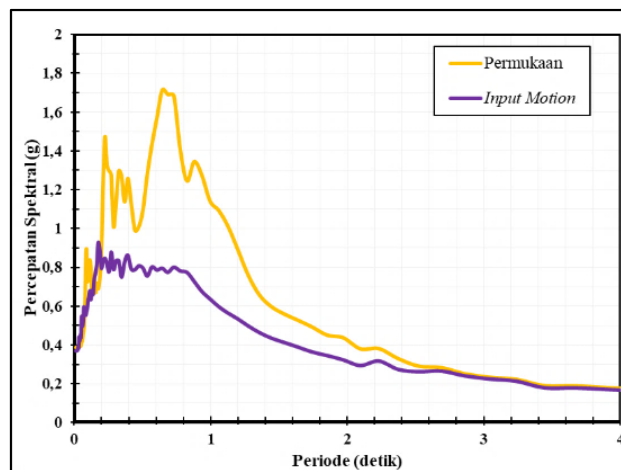
Output dari analisis perambatan gelombang gempa *nonlinear* satu dimensi model *Pressure Dependent Hyperbolic* (PDH) yaitu parameter respons seismik, yang terdiri dari parameter respons spektra berupa percepatan respons spektra pada periode pendek 0,2 detik (S_s) dan pada periode panjang 1 detik (S_l). *Peak Ground Acceleration* (PGA) atau percepatan tanah maksimum. Percepatan respons spektra adalah salah satu parameter penting yang digunakan untuk merancang bangunan tahan gempa [14].

Peak Ground Acceleration (PGA) didapat dari nilai percepatan gelombang seismik terbesar saat di permukaan tanah. Getaran seismik yang bergantung pada perambatan gelombang seismik dan sifat-sifat lapisan tanah menghasilkan percepatan tanah maksimum di suatu tempat. Gambar 3 menunjukkan nilai PGA pada input motion dan PGA saat berada di permukaan tanah. Besar PGA pada *input motion* berdasarkan Gambar 3 yaitu 0,369g, sementara itu, pada permukaan tanah nilai PGA di titik penelitian sebesar 0,388g. Faktor amplifikasi atau faktor perbesaran gelombang gempa merupakan hasil dari perbandingan PGA saat di permukaan dan nilai PGA pada *input motion*. Menurut Partono dkk. [15], penguatan percepatan gelombang gempa dari batuan dasar sampai pada permukaan tanah merupakan pengaruh dari perbedaan kecepatan gelombang geser (V_s) di batuan dasar dan kecepatan gelombang geser (V_s) di lapisan tanah (sedimen). Faktor perbesaran gelombang gempa ini meginterpretasi tentang adanya perubahan percepatan gempa saat berada pada batuan dasar hingga sampai ke permukaan. Gambar 3 menunjukkan nilai faktor amplifikasi sebesar 1,05.



Gambar 3. Perbandingan PGA Permukaan dengan PGA Input Motion

Acuan dalam memperoleh nilai percepatan spektra periode pendek 0,2 detik (S_s) periode panjang 1 detik (S_l) adalah percepatan spektra yang terjadi di permukaan tanah. Gambar 4 merupakan grafik percepatan spektra yang ada di permukaan tanah dan percepatan spektra saat *input motion*. Nilai percepatan spektra periode pendek (S_s) diperoleh dengan menentukan percepatan spektra (PSA) yang terjadi saat periode 0,2 detik, sedangkan untuk percepatan spektra periode panjang (S_l) didapatkan saat percepatan spektra PSA berada pada periode 1 detik. Gambar 4 menunjukkan nilai S_s dan nilai S_l secara berturut-turut adalah 0,94g dan 1,13g.

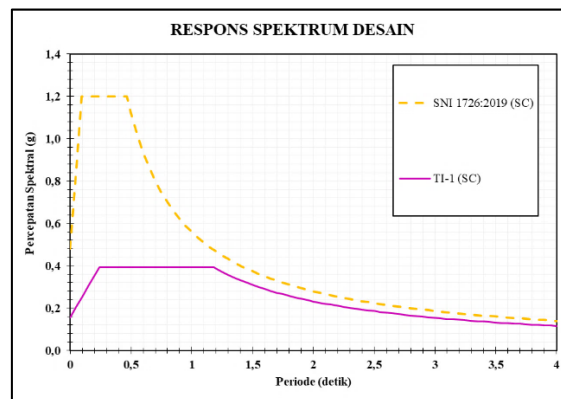


Gambar 4. Percepatan Spektra di Permukaan dan Input Motion

5.2 Desain Respons Spektra Hasil Analisis Perambatan Gelombang Gempa

Langkah-langkah perhitungan desain respons spektra yang dilakukan menggunakan *output* dari analisis perambatan gelombang gempa dilakukan berdasarkan SNI 1726-2019, namun nilai parameter gempa (PGA, S_s , S_l , AF) yang digunakan yaitu *output* dari analisis perambatan gelombang gempa. Desain respons spektra dari analisis perambatan gelombang seismik kemudian dibandingkan dengan desain respons spektra dari SNI 1726:2019 dengan memperhatikan kelas situs tanah. Kecamatan Singaran Pati berada pada kelas situs SC atau tanah keras. Desain respons spektra hasil penelitian dibandingkan dengan desain spektra SNI 1726:2019 untuk kelas situs SC (Gambar 5). Pada Gambar 5, terdapat 2 buah respon spektra. Garis putus-putus berwarna kuning merupakan respn spektra yang diperoleh dari SNI 1726-2019, untuk kelas Situs C (SC), sesuai dengan kondisi kelas situs area yang distudi. Garis ungu merupakan garis respon spektra yang pada titik yang distudi, mengacu para prosedur perhitungan

yang tertera pada SNI 1726-2019. Gambar 5 memperlihatkan bahwa grafik desain respons spektra hasil analisis gelombang gempa berada di bawah grafik respons spektra SNI 1726:2019 untuk kelas situs tanah keras (SC). Grafik desain respons spektra titik penelitian berada di bawah grafik respons spektra SNI 1726:2019 SC. Grafik yang dihasilkan titik penelitian di puncak S_{DS} saat periode T_0 hingga T_s terlihat lebih pendek.



Gambar 5. Perbandingan Grafik Desain Respons Spektra terhadap SNI 1726:2019 (SC)

6. KESIMPULAN

Analisis respons seismik satu dimensi nonlinear model *Pressure Dependent Hyperbolic* (PDH) menghasilkan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) pada Kecamatan Singaran Pati, Kota Bengkulu sebesar 0,388g. *Amplification Factor* (AF) pada Kecamatan Singaran Pati, Kota Bengkulu sebesar 1,05. Percepatan spektra periode pendek (S_s) pada Kecamatan Singaran Pati, Kota Bengkulu sebesar 0,94g. Percepatan spektra periode panjang (S_l) pada Kecamatan Singaran Pati, Kota Bengkulu sebesar 1,13g. Puncak S_{DS} pada rentang T_0 hingga T_s desain respons spektra perambatan gelombang lebih rendah dibandingkan desain respons spektra SNI 1726:2019.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Farid, L. Z. Mase, Implementation of seismic hazard mitigation on the basis of ground shear strain indicator for spatial plan of Bengkulu City, Indonesia, *International Journal of GEOMATE*, Vol.18 No.69 May 2020 (2020) 199-207. DOI: <https://doi.org/10.21660/2020.69.24759>
- [2] M. F. Qodri, V. D. Anggorowati, L. Z. Mase, Site-specific analysis to investigate response and liquefaction potential during the megathrust earthquake at Banten Province Indonesia, *Engineering Journal*, 26(9) (2022) 1-10. DOI: <https://doi.org/10.4186/ej.2022.26.9.1>
- [3] L. Z. Mase, Reliability study of spectral acceleration designs against earthquakes in Bengkulu City, Indonesia, *International Journal of Technology*, 9(5) (2018) 910-924. DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i5.621>
- [4] R. Apriani, Pemetaan batuan dasar berdasarkan kecepatan gelombang geser (v_s) sebagai dasar perencanaan konstruksi dan pengembangan wilayah di kecamatan Singaran Pati, Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Kota Bengkulu, (2021).
- [5] Y. M. A. Hashash, D. R. Groholski, Recent advances in non-linear site response analysis, *Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor I.M. Idriss*, 29(6) (2010), 1-22. DOI: <https://scholarsmine.mst.edu/icrageesd/05icrageesd/session12/8>
- [6] Y. M. A. Hashash, D. Park, Non-linear one-dimensional seismic ground motion propagation in the Mississippi embayment, *Engineering Geology*, 62(1-3) (2001) 185-206. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00061-8)
- [7] J. M. Duncan, C. Y. Chang, Nonlinear analysis of stress and strain in soils, *Journal of the soil mechanics and foundations division*, 96(5) (1970) 1629- 1653. DOI: <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001458>
- [8] R. Misliniyati, L. Z. Mase, M. Irsyam, Hendriawan, A. Sahadewa, H. (2019). Seismic response validation of simulated soil models to vertical array record during a strong earthquake, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, Vol 51 No. 6 (2019) 772-790. DOI: <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2019.51.6.3>
- [9] Y. M. A. Hashash, Nonlinear and Equivalent Linear Seismic Site Response of One-Dimensional Soil Columns Version 6.1. Department of Civil and Environmental Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign (2016).
- [10] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726-2019: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. Jakarta: Standar Nasional Indonesia (2019).
- [11] M. Vucetic, R. Dobry, Effect of soil plasticity on cyclic response. *Journal of geotechnical engineering*, 117(1) (1991) 89-107. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1991\)117:1\(89\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1991)117:1(89))
- [12] H.B. Seed, I. M. Idriss, Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses. Earthquake engineering research centre report EERC. Berkeley, California (1991) .

- [13] L. Z. Mase, A. K. Somantri, Development of spectral response design for Bengkulu City based on deterministic approach, in: Proceeding of the 20th Annual Meeting of Indonesian Society for Geotechnical Engineering. 15-16 November, Jakarta, Indonesia, (2016) 147–152.
- [14] L. Z. Mase, Local seismic hazard map based on the response spectra of stiff and very dense soils in Bengkulu City, Indonesia, Geodesy and Geodynamics (2022). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geog.2022.05.003>
- [15] W. Partono, M. Irsyam, M., RW, S. Prabandiyani, S. Maarif, Aplikasi Metode HVSR pada perhitungan faktor amplifikasi tanah di Kota Semarang. Media Komunikasi Teknik Sipil, 19(2), (2013) 125-134. DOI: <https://doi.org/10.14710/mkts.v19i2.8421>