

Analisis Penurunan Tiang Bor Pada Perencanaan Penggantian Jembatan Krueng Pandrah Menggunakan Nilai PGA Berdasarkan Peta Gempa 2017

Zu Irfan*, Ichsap Saputra

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Abulyatama, Kabupaten Aceh Besar

*Koresponden email: zuirfan_sipil@abulyatama.ac.id

Diterima: 26 Mei 2026

Disetujui: 16 Juni 2026

Abstract

Bridge foundation planning is an important part of substructure planning that functions to safely transfer the structure's load to the supporting soil layers. One of the parameters that needs to be considered in foundation planning is the amount of settlement that occurs due to the applied load and seismic effects. This study aims to analyze the settlement of bored pile foundation groups on the Pandrah bridge based on seismic parameters at the location. The initial stage of the study was conducted by determining the bridge location coordinates using Google Earth. These coordinates were used to obtain seismic parameters through the LINI application of the Ministry of Public Works and Public Housing. The parameters used include Peak Ground Acceleration (PGA), short period spectral acceleration value (SS), and 1-second period spectral acceleration value (S1). Subsequently, these parameters were used in the analysis of bored pile foundation settlement. The analysis results show that the group pile settlement that occurs is 2.0 mm, which is still smaller than the maximum allowable settlement of 10.0 mm, so the pile foundation is considered acceptable.

Keywords: *foundation settlement, pga, bored pile, krueng pandrah*

Abstrak

Perencanaan pondasi jembatan merupakan salah satu bagian penting dalam perencanaan struktur bawah yang berfungsi untuk menyalurkan beban struktur ke lapisan tanah pendukung secara aman. Salah satu parameter yang perlu diperhatikan dalam perencanaan pondasi adalah besarnya penurunan yang terjadi akibat beban yang bekerja dan pengaruh gempa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penurunan kelompok pondasi tiang bor (*bore pile*) pada jembatan Krueng Pandrah berdasarkan parameter kegempaan pada lokasi tersebut. Tahap awal penelitian dilakukan dengan menentukan koordinat lokasi jembatan menggunakan *Google Earth*. Koordinat tersebut digunakan untuk memperoleh parameter gempa melalui aplikasi LINI Kementerian PUPR. Parameter yang digunakan meliputi *Peak Ground Acceleration* (PGA), nilai percepatan spektra periode pendek (S_s), nilai percepatan spectra periode 1 detik (S_1). Selanjutnya, parameter tersebut digunakan dalam analisis penurunan pondasi tiang bor (*bore pile*). Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan kelompok tiang yang terjadi adalah sebesar 2 mm, masih lebih kecil dari batas maksimum penurunan yang diizinkan yaitu sebesar 10 mm, sehingga dinyatakan pondasi tiang bor (*Bore Pile*) cukup aman.

Kata Kunci: *penurunan pondasi, pga, tiang bor, krueng pandrah*

1. Pendahuluan

Perencanaan pondasi jembatan merupakan komponen krusial dalam struktur bawah yang berfungsi memikul beban dari struktur atas termasuk beban gempa dan menyalurkannya ke dalam tanah hingga kedalaman tertentu. Penurunan atau *settlement* digunakan untuk menunjukkan gerakan titik tertentu pada bangunan terhadap titik referensi yang tetap. Jika seluruh permukaan tanah dibawah dan disekitar bangunan turun secara seragam dan penurunan terjadi tidak berlebihan, maka turunnya bangunan akan tidak kelihatan oleh pandangan mata dan penurunan yang terjadi tidak menyebabkan kerusakan bangunan. Tanah yang tidak mampu memikul beban yang diteruskan pondasi akan mengalami penurunan berlebihan atau keruntuhan. Hal tersebut akan menyebabkan kerusakan konstruksi yang berada di atasnya. Kegagalan pondasi karena penurunan dapat berlangsung relatif cepat, atau melalui proses yang lambat dan berlangsung sampai bertahun-tahun.

Bila dasar pondasi terletak pada tanah granuler seperti pasir dan kerikil, penurunan yang terjadi adalah berupa penurunan segera. Penurunan total, berlangsung dan selesai pada waktu segera setelah beban

diterapkan. Penurunan pondasi yang terletak pada tanah-tanah lanau dan pasir, sebagian disebabkan oleh deformasi tanah dasar pondasi ke arah lateral. Jika kerikil dalam kondisi tidak padat, penurunan mendadak terjadi bila terdapat getaran frekwensi tinggi. Berbagai macam pondasi dapat digunakan pada kerikil padat tanpa penurunan yang berarti (Hardiyatmo, 2020).

Penurunan pondasi yang terletak pada tanah-tanah lanau dan pasir, sebagian disebabkan oleh deformasi tanah dasar pondasi ke arah lateral. Jika kerikil dalam kondisi tidak padat, penurunan mendadak terjadi bila terdapat getaran frekwensi tinggi. Berbagai macam pondasi dapat digunakan pada kerikil padat tanpa penurunan yang berarti (Hardiyatmo, 2020).

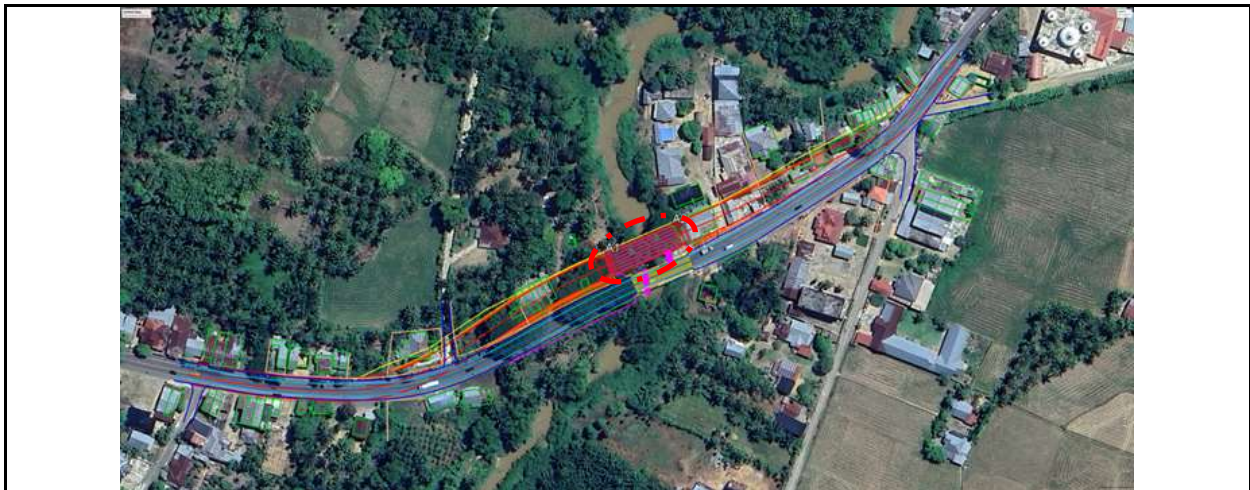
Pondasi tiang bor merupakan jenis pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan cara melakukan pengeboran tanah terlebih dahulu, kemudian setelah itu diisi dengan tulangan yang telah dirangkai dan kemudian di cor dengan beton (Januar et al., 2023).

2. Metode Penelitian

2.1. Menentukan Koordinat Lokasi

Lokasi penelitian ini berada pada jembatan Krueng Pandrah yang terletak di Kabupaten Bireuen, Provinsi Aceh. Penentuan koordinat lokasi dilakukan sebagai tahapan awal dalam analisis kegempaan dan evaluasi struktur pondasi jembatan. Koordinat geografis lokasi penelitian diperoleh dari aplikasi *google earth* dengan mengidentifikasi posisi jembatan secara langsung berdasarkan tampilan citra satelit. Data koordinat tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan parameter gempa, mulai dari nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA), nilai spektra percepatan periode pendek (S_s), nilai spektra percepatan periode 1 detik (S_1), melalui aplikasi LINI Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR).

Ketelitian dalam menentukan titik koordinat akan mempengaruhi keakuratan data parameter gempa yang digunakan. Adapun lokasi jembatan pada koordinat N : 5° 11' 082" dan E : 96° 28' 161", data ini didapatkan dari aplikasi *google earth*, seperti diperlihatkan pada **Gambar 1** di bawah ini.



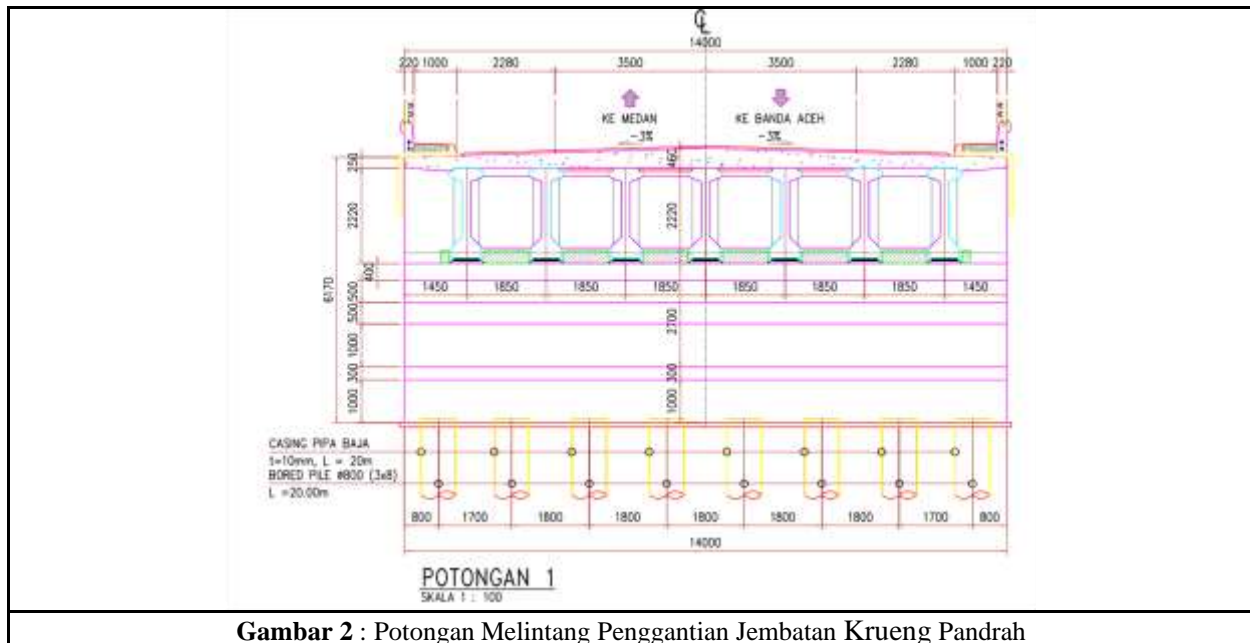
Gambar 1 : Lokasi Penggantian Jembatan Krueng Pandrah

2.2. Menentukan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA)

PGA merupakan nilai percepatan getaran tanah paling besar yang terjadi di suatu Lokasi yang disebabkan oleh gempa bumi. Sejak dahulu nilai percepatan tanah maksimum dijadikan salah satu parameter untuk menyatakan kekuatan sebuah gempa bumi (Kumala, 2016). Parameter ini umumnya dinyatakan dalam satuan g (percepatan gravitasi bumi), yang menunjukkan perbandingan antara percepatan tanah terhadap percepatan gravitasi bumi. Menurut Kramer (2011) percepatan tanah akibat gempa bumi tersebut akan menunjukkan gaya inersia yang akan bekerja pada masa struktur.

Peak Ground Acceleration (PGA) adalah percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun. Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti magnitudo gempa, jarak terhadap sumber gempa, kondisi geologi setempat serta karakteristik tanah pada Lokasi penelitian. Pada penelitian ini, nilai percepatan tanah maksimum di lokasi jembatan Krueng Pandrah diperoleh sebesar 0,289. Nilai tersebut diperoleh berdasarkan peta sumber dan bahaya gempa yang dapat diakses melalui website LINI milik Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), sebagaimana ditunjukkan **Gambar 2**. Nilai

PGA tersebut selanjutnya digunakan sebagai salah satu parameter dasar dalam analisis respons struktur terhadap pengaruh beban gempa.



Gambar 2 : Potongan Melintang Penggantian Jembatan Krueng Pandrah

2.3. Menentukan Nilai Spektra periode 0,2 detik (S_s)

Menurut (Axel Telling Ada, 2024) S_s adalah parameter respons spektra percepatan gempa MCRE terpetakan = untuk periode pendek ($T = 0,2$ detik), nilai ini digunakan untuk menggambarkan tingkat percepatan maksimum struktur akibat pengaruh gempa pada periode getar pendek, yang umumnya berkaitan dengan struktur kaku atau bangunan dengan periode alami relatif kecil. Dalam perencanaan struktur tahan gempa, parameter S_s ini menjadi salah satu komponen penting. Berdasarkan SNI 2833:2016 tentang perencanaan jembatan terhadap beban gempa, nilai S_s ditentukan berdasarkan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui sebesar 7% dalam 75 tahun. Nilai tersebut mencerminkan tingkat percepatan gempa maksimum yang mungkin terjadi pada batuan dasar di suatu wilayah dalam periode ulang tertentu. Semakin besar nilai S_s , maka semakin besar pula potensi respons dinamik struktur terhadap pengaruh beban gempa.

Pada penelitian ini, parameter S_s diperoleh melalui aplikasi LINI Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) berdasarkan koordinat lokasi jembatan Pandrah yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai tersebut kemudian digunakan sebagai salah satu parameter utama dalam analisis respon spektrum untuk mengevaluasi pengaruh beban seismic terhadap perilaku pondasi *bore pile* pada abutmen jembatan. Hasil pengambilan data parameter S_s dari aplikasi LINI dapat dilihat pada **Gambar 3**.

2.4. Menentukan Nilai spektra periode 1 detik (S_1)

S_1 adalah parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode pendek ($T = 1$ detik), parameter ini digunakan untuk menggambarkan respons struktur terhadap pengaruh beban gempa pada periode getar yang lebih panjang, yang umumnya berkaitan dengan struktur fleksibel atau struktur dengan ketinggian relative besar. Nilai S_1 menjadi salah satu parameter utama dalam analisis respon spektrum gempa karena berpengaruh terhadap besarnya gaya gempa rencana yang bekerja pada struktur. Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2833:2016 tentang perencanaan jembatan terhadap beban gempa, nilai S_1 ditentukan berdasarkan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia dengan probabilitas sebesar 7% dalam periode 75 tahun. Nilai ini menunjukkan tingkat percepatan gempa maksimum pada suatu wilayah tertentu. Semakin besar nilai S_1 , maka semakin besar pula potensi respons dinamik struktur akibat pengaruh gempa bumi, khususnya pada struktur yang memiliki periode getar Panjang.

Pada penelitian ini, nilai parameter S_1 diperoleh melalui aplikasi LINI Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) berdasarkan koordinat lokasi jembatan Pandrah yang telah ditentukan sebelumnya. Parameter tersebut digunakan sebagai bagian dari analisis respon spektrum untuk mengevaluasi pengaruh beban gempa terhadap perilaku pondasi Tiang bor (*bore pile*) pada abutment jembatan. Hasil pengambilan data parameter S_s dari aplikasi LINI ditunjukkan pada **Gambar 3**.

2.5. Penurunan Tiang Kelompok

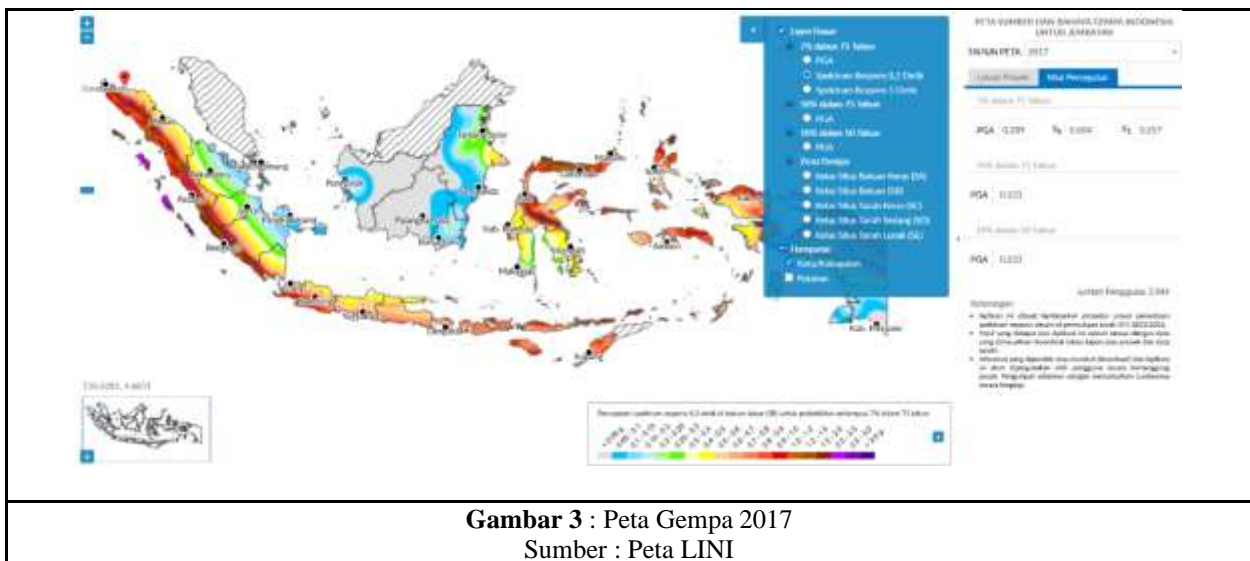
Penurunan langsung atau penurunan elastis adalah penurunan pondasi yang terletak pada tanah berbutir halus yang jenuh (Nainggolan & Endayanti, 2022). Menurut Hardiyantmo (2020) umumnya penurunan tak seragam lebih membahayakan bangunan dari pada penurunan totalnya. Pertimbangan pertama dalam menghitung besarnya penurunan adalah penyebaran tekanan pondasi ke tanah di bawahnya. Penurunan pondasi bangunan dapat diestimasi dari hasil-hasil pengujian laboratorium pada contoh-contoh tanah tak terganggu yang diambil dari pengeboran atau dari persamaan-persamaan empiris yang dihubungkan dengan hasil pengujian di lapangan secara langsung. Salah satu metode yang umum digunakan adalah metode yang dikemukakan oleh Vesic (1977/1996), yang didasarkan pada hubungan antara penurunan tiang tunggal dengan lebar efektif kelompok tiang. Metode ini mengasumsikan bahwa penurunan kelompok tiang dipengaruhi oleh distribusi tegangan tanah akibat kombinasi kerja antara tiang dalam satu kelompok.

Pendekatan empiris tersebut digunakan karena mampu memberikan estimasi penurunan pondasi yang cukup representatif terhadap kondisi lapangan, khususnya pada pondasi bore pile yang menerima beban aksial dari struktur jembatan. Dalam penelitian ini, perhitungan penurunan kelompok tiang dilakukan menggunakan persamaan Vesic untuk mengetahui besarnya deformasi vertikal yang terjadi akibat pembebanan dan pengaruh parameter gempa pada pondasi abutment jembatan. Adapun persamaan penurunan kelompok tiang menurut metode Vesic dirumuskan sebagai berikut:

$$S_g = S_s \sqrt{\frac{B_g}{D}}$$

Keterangan :

- S_g = Penurunan kelompok tiang (*settlement of group*).
- S_s = Penurunan tiang tunggal (*settlement of single pile*).
- B_g = Lebar kelompok tiang (diameter setara/lebar efektif).
- D = Diameter atau lebar tiang tunggal.



Gambar 3 : Peta Gempa 2017
 Sumber : Peta LINI

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pemodelan Group Pondasi

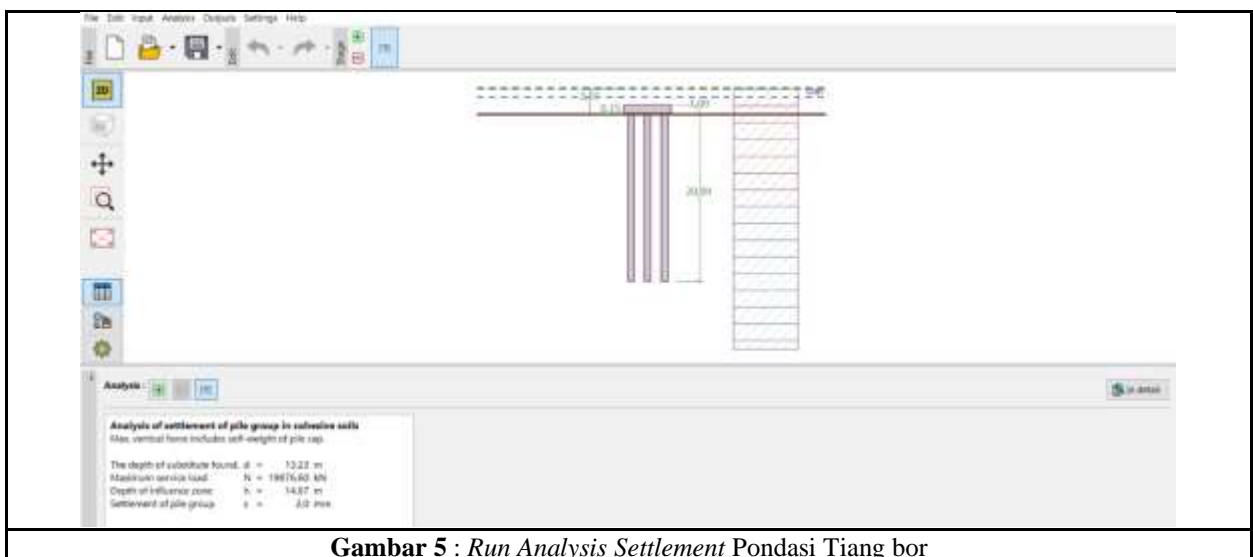
Pemodelan Group Pondasi Tiang Bor (*Bore Pile*) dilakukan dengan bantuan *Software Geo5*, dengan memasukkan data tanah dan juga beban yang di timbulkan pada abutment jembatan. Adapun bentuk penampang jembatan seperti diperlihatkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4 : Pemodelan 3D *Group Pile* Pondasi Tiang bor

Analisis *Settlement*

Setelah pemodelan *Group pile* seperti diperlihatkan pada **Gambar 4**, maka dilakukan *run analysis*, dari hasil analisis didapat bahwa penurunan aktual pada pondasi Tiang bor (*bore pile*) yaitu sebesar 2,0 mm, seperti diperlihatkan pada **Gambar 5**. Dari hasil penurunan yang didapat tersebut dinyatakan bahwa pondasi Tiang bor (*bore pile*) cukup aman, karena penurunan aktual yang terjadi akibat pembebanan masih lebih kecil dari angka keamanan yang diizinkan yaitu sebesar 10,0 mm.



Gambar 5 : *Run Analysis Settlement* Pondasi Tiang bor

4. Kesimpulan

Dari analisis kelas situs didapat masuk kategori kelas tanah Sedang (SD), dan juga dari interpolasi faktor amplifikasi didapatkan bahwa nilai koefisien Percepatan (SD_1) adalah 0,485g, maka menurut SNI 2833: 2016, jika nilai parameter $0,3 < SD_1 \leq 50$, masuk kategori zona gempa 3. Penurunan aktual yang terjadi pada pondasi Tiang bor (*bore pile*) adalah sebesar 2,0 mm, masih sangat aman dari yang diizinkan yaitu sebesar 10,0 mm.

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam perencanaan pondasi jembatan pada wilayah dengan karakteristik tanah sedang (SD) dan Tingkat bahaya gempa yang setara. Selain itu, penggunaan parameter kegempaan berbasis PGA, SS, dan S1 dari aplikasi LINI Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) terbukti dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja pondasi

terhadap pengaruh gempa, sehingga dapat membantu perencanaan dalam menghasilkan desain pondasi yang lebih kuat dan andal.

5. Daftar Pustaka

- [1] Badan Standarisasi Nasional. (2016). Pembebanan Untuk Jembatan. (SNI 1725 : 2016)
- [2] Badan Standarisasi Nasional. (2017). Persyaratan Perancangan Geoteknik. (SNI 8460 : 2017)
- [3] Badan Standarisasi Nasional. (2016). Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa. (SNI 2833 : 2016)
- [4] Direktorat Jenderal Bina Marga. 2021. No. 02/M/BM/2021 Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan. Jakart : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga
- [5] Azizi, A., Al Fathoni, M. A. S., & Anjarwati, S. (2022). Analisis Penurunan Pondasi Tiang Bor Dengan Metode Empiris Dan Uji Beban Pada Proyek Gedung “K” Universitas Muhammadiyah Purwokerto. *CIVeng: Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 3(1), 25-32.
- [6] Axel Telling Ada, E. T. (2024). *Analisis Perbandingan Parameter Respons Spektrum Desain Antara Sni 1726-2012 Dan Sni 1726-2019 Di Kota Sorong*. *Jurnal Karkasa*, 10(2), 29–38.
- [7] Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 2833:2016 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- [8] Hary Christady Hardiyatmo. (2020). *Analisis Dan Perancangan Teknik Fondasi 1*. Yogyakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [9] Januar, G. R., & Agung, P. A. M. (2023). Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor Pada Struktur Kepala Jembatan. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 4(1), 30-37.
- [10] Roësset, J. M. (2007). *Review of Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, by Anil K. Chopra: Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ; 2006; 876 pp.
- [11] Siti Ayu Kumala, & Wahyudi. (2016). Analisis Nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) Untuk Seluruh Wilayah Kabupaten Dan Kota Di Jawa Timur. *INERSIA*, 12(1), 37–43
- [12] Yarofe Nainggolan, Lucas Dwi Heryanto Sihombing, M. Endayanti, & A. Gultom. (2022). Evaluasi Perencanaan Struktur Bawah Jembatan Idano Sibolou Kabupaten Nias Barat Provinsi Sumatera Utara. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 11(1), 137–146. <https://doi.org/10.46930/tekniksipil.v11i1.1721>
- [13] Suharjanto (2013), *Rekayasa Gempa*. Yogyakarta : Kepel Press
- [14] Braja Das, (2011). *The Principles Foundation Engineering*. Seventh Edition, Cengage Learning : Stamford USA
- [15] Salim. A, & Siswanto. B.A (2018), *Rekayasa Gempa*, K-Media : Yogyakarta