

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA SPT DAN
ALTERNATIF PERBAIKANNYA DENGAN METODE STONE COLUMN**

(Studi Kasus : Proyek Pembangunan Bethsaida Hospital Serang)

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)



Disusun oleh :

SHOFARINA IKA JUNIAR SUSANTI

3336200007

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

TAHUN 2024

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis skripsi berikut :

Judul : Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data SPT Dan
Alternatif Perbaikannya Dengan Metode Stone Column
(Studi Kasus : Proyek Pembangunan Bethesda Hospital
Serang)

Nama : Shofarina Ika Juniar Susanti

NIM : 3336200007

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja dinyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 23 Juli 2024



Shofarina Ika Juniar Susanti

NIM. 3336200007

SKRIPSI
ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA SPT DAN
ALTERNATIF PERBAIKANNYA DENGAN METODE STONE COLUMN
(Studi Kasus : Proyek Pembangunan Bethsaida Hospital Serang)

Dipersiapkan dan disusun oleh:
SHOFARINA IKA JUNIAR SUSANTI/ 3336200007

Telah Dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada Tanggal:

Dewan Penguji

Pembimbing I

Pembimbing II

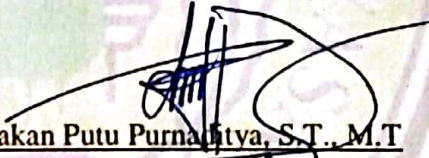

Rama Indera Kusuma, S.T., M.T
NIP. 198108222006041001


Woelandari Pathonah, S.T., M.T
NIP. 199012292019032021

Penguji I

Penguji II


Enden Mina, S.T., M.T
NIP. 197305062006042001


Ngakan Putu Purnasitya, S.T., M.T
NIP. 198909142019031008

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal:

Ketua Jurusan Teknik Sipil


Dr. Rindu Twidi Bethary, S.T., M.T.
NIP. 198212062010122001

PRAKATA

Puji syukur dipanjatkan kepada Allah SWT karena berkat rahmatnya Skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh derajat kesarjanaan Strata-1 pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terimakasih kepada :

- a. Ibu Dr.Rindu Twidi Bethary, ST.,MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- b. Ibu Woelandari Fathonah, ST.,M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- c. Bapak Rama Indera Kusuma, ST.,MT dan Ibu Woelandari Fathonah, ST.,MT selaku dosen pembimbing I dan II.
- d. Ibu Enden Mina,ST.,MT dan Bapak Ngakan Putu Purnaditya, ST.,MT selaku dosen penguji I dan II.
- e. Ibu Siti Asyiah, S.Pd., M.T. selaku koordinator skripsi.
- f. Bapak, Ibu dan adik-adiku yang selalu memberikan motivasi baik berupa moril dan material untuk mengerjakan skripsi ini.
- g. Keluarga Koning, yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.
- h. Keluarga Roften, para senior dan juga adik-adik yang telah memberikan semangat dan masukan kepada penulis.

Akhir kata semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Cilegon, Juni 2024

Penulis

INTISARI

Likuifaksi merupakan fenomena menurunnya kekuatan dan kekakuan tanah akibat gempa bumi atau pergerakan tanah lainnya yang dapat menyebabkan kerusakan serius pada infrastruktur selama gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi likuifaksi di suatu daerah dengan menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT) dan mengevaluasi efektivitas metode *stone column* sebagai alternatif mitigasi. Data SPT yang diperoleh dari lokasi penelitian dianalisis untuk menentukan nilai faktor keamanan terhadap likuifaksi menggunakan metode Seed dan Idriss. Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa lapisan tanah di lokasi penelitian memiliki potensi likuifaksi karena terdapat pasir jenuh air pada kedalaman 7,5 – 40 m. Sebagai langkah perbaikan, metode *stone column* diusulkan dan dievaluasi berdasarkan kemampuannya meningkatkan kapasitas daya dukung tanah dan mengurangi potensi likuifaksi dengan pemasangan konfigurasi *stone column* pola segitiga sama sisi dan diameter 1 m serta spasi antar kolom 1,6 m. Hasil perhitungan menunjukkan peningkatan signifikan dalam kapasitas daya dukung tanah setelah pemasangan *stone column* dengan nilai faktor keamanan semula 0,549 – 0,897 menjadi 1,703 – 3,057 hal ini memungkinkan struktur bangunan di atas tanah yang diperbaiki memiliki fondasi yang lebih kuat dan stabil. Studi ini menyimpulkan bahwa metode *stone column* merupakan salah satu metode perbaikan tanah yang cukup baik untuk tanah yang berpotensi likuifaksi khususnya pada tanah pasir lepas. Dalam analisisnya, *stone column* dapat meningkatkan nilai FS atau daya dukung tanah beserta dapat mereduksi *settlement* yang terjadi.

Kata Kunci : Likuifaksi, *Stone Column*, *Safety Factor*, *Settlement*.

ABSTRACT

Liquefaction is a phenomenon of decreasing soil strength and stiffness due to earthquakes or other ground movements that can cause serious damage to infrastructure during earthquakes. This study aims to analyze the liquefaction potential in an area using Standard Penetration Test (SPT) data and evaluate the effectiveness of the stone column method as a mitigation alternative. The SPT data obtained from the research site was analyzed to determine the value of the safety factor against liquefaction using the Seed and Idriss method. The results of the analysis show that some soil layers at the study site have liquefaction potential due to the presence of water-saturated sand at a depth of 7.5 - 40 m. As a remedial measure, the stone column method is proposed. As a remedial measure, the stone column method was proposed and evaluated based on its ability to increase the soil bearing capacity and reduce liquefaction potential by installing an equilateral triangle stone column configuration with a diameter of 1 m and a spacing of 1.6 m between columns. The calculation results show a significant increase in the bearing capacity of the soil after the installation of stone columns with the original factor of safety values of 0.549 - 0.897 to 1.703 - 3.057 this allows the building structure on the improved soil to have a stronger and more stable foundation. This study concludes that the stone column method is one of the best soil improvement methods for liquefaction potential soils, especially in loose sand soils. In the analysis, stone column can increase the FS value or bearing capacity of the soil and can reduce the settlement that occurs.

Keywords: Liquefaction, Stone Column, Safety Factor, Settlement.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA	iv
INTISARI	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Keaslian Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu yang Relevan.....	4
2.2 Keterkaitan Penelitian.....	7
BAB 3 LANDASAN TEORI	
3.1 Tanah	8
3.2 Gempa Bumi	10
3.3 Likuifaksi	15
3.4 Stone Column	26
BAB 4 METODOLOGI PENELITIAN	
4.1 Tahapan Penelitian.....	29
4.2 Lokasi Penelitian	30
4.3 Analisis Likuifaksi	30
4.4 Perhitungan Stone Column	35

4.5 Jadwal Penelitian	37
BAB 5 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
5.1 Umum	38
5.2 Pengumpulan Data Parameter Tanah.....	38
5.3 Motion Gempa Sintetik.....	43
5.4 Nilai Percepatan Gempa Maksimum di Permukaan.....	46
5.5 Analisis Potensi Likuifaksi	49
5.6 Analisis Data SPT.....	50
5.7 Analisis Perbaikan Tanah Menggunakan Stone Column	77
BAB 6 KESIMPULAN SARAN	
6.1 Kesimpulan	91
6.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tinjauan Pustaka Penelitian Sebelumnya	6
Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO	9
Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS	10
Tabel 4.1 Estimasi Waktu Penelitian	36
Tabel 5.1 Hubungan N-SPT Terhadap Konsistensi Tanah Pasir	38
Tabel 5.2 Hubungan N-SPT Terhadap Konsistensi Tanah Lempung	38
Tabel 5.3 Karakteristik N-SPT DB-01	38
Tabel 5.4 Korelasi Empiris antara Nilai N-SPT dengan UCS	39
Tabel 5.5 Korelasi N-SPT dengan Berat Volume	39
Tabel 5.6 Berat Volume pada DB-01	40
Tabel 5.7 Shear wave velocity DB-01	42
Tabel 5.8 Perhitungan Nilai CSR pada DB-01	56
Tabel 5.9 Perhitungan Nilai CSR pada DB-02	57
Tabel 5.10 Perhitungan Nilai CSR pada DB-03	58
Tabel 5.11 Perhitungan Nilai CSR pada DB-04	59
Tabel 5.12 Perhitungan Nilai CRR pada DB-01	67
Tabel 5.13 Perhitungan Nilai CRR pada DB-02	68
Tabel 5.14 Perhitungan Nilai CRR pada DB-03	69
Tabel 5.15 Perhitungan Nilai CRR pada DB-04	70
Tabel 5.16 Perhitungan Nilai Faktor Keamanan DB-01	72
Tabel 5.17 Perhitungan Nilai Faktor Keamanan DB-02	73
Tabel 5.18 Perhitungan Nilai Faktor Keamanan DB-03	73
Tabel 5.19 Perhitungan Nilai Faktor Keamanan DB-04	74
Tabel 5.20 Rekapitulasi Faktor Keamanan Perbaikan DB-01	85
Tabel 5.21 Rekapitulasi Faktor Keamanan Perbaikan DB-02	86
Tabel 5.22 Rekapitulasi Faktor Keamanan Perbaikan DB-03	88
Tabel 5.23 Rekapitulasi Faktor Keamanan Perbaikan DB-04	88

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Flowchart Tugas Akhir Terhadap Penelitian Sebelum	7
Gambar 3.1 Peta Zona Gempa Indonesia.....	14
Gambar 3.2 Kondisi Partikel Tanah Saat Normal.....	19
Gambar 3.3 Kondisi Partikel Tanah saat Mengalami Getaran.....	20
Gambar 3.4 Pola Pemasangan Stone column Tringular.....	26
Gambar 3.5 Pola Pemasangan Stone column Square.....	26
Gambar 3.6 Grafik hubungan kenaikan N-SPT dengan nilai as	27
Gambar 4.1 Flow Chart Penelitian Skripsi	28
Gambar 4.2 Lokasi Penelitian	29
Gambar 4.3 Diagram Alir Perhitungan Likuifaksi.....	33
Gambar 4.4 Diagram Alir Perhitungan Stone column	35
Gambar 5.1 Input Data Kejadian Gempa	43
Gambar 5.2 Data Kejadian Gempa	43
Gambar 5.3 Input Nama Kota yang Ditinjau	44
Gambar 5.4 Grafik Respon Spektrum.....	44
Gambar 5.5 Input Data Profil Tanah DB-01	45
Gambar 5.6 Soil Profil Plot pada DB-01	45
Gambar 5.7 Input Data Riwayat Gempa	46
Gambar 5.8 Proses Data Gempa	46
Gambar 5.9 Percepatan Gempa Maksimum (amax)	47
Gambar 5.10 Faktor Amplifikasi DB-01	47
Gambar 5.11 Acceleration DB-01.....	48
Gambar 5.12 Velocity DB-01	48
Gambar 5.13 Displacement DB-01	48
Gambar 5.14 Grafik Hubungan Nilai N-SPT dengan Kedalaman	49
Gambar 5.15 Grafik CRR, CSR,FS vs Kedalaman DB-01	74
Gambar 5.16 Grafik CRR, CSR,FS vs Kedalaman DB-02.....	75
Gambar 5.17 Grafik CRR, CSR,FS vs Kedalaman DB-03	75
Gambar 5.18 Grafik CRR, CSR,FS vs Kedalaman DB-04.....	75

Gambar 5.19 Peta Zona Likuifaksi Bethsaida Hospital Serang	76
Gambar 5.20 Pola Pemasangan Stone Column Segitiga Sama Sisi	77
Gambar 5.21 Pola Pemasangan Stone Column Persegi	77
Gambar 5.22 Tampak Depan Ilustrasi Pemasangan Stone Column	78
Gambar 5.23 Grafik Kompreabilitas Stone Column.....	80
Gambar 5.24 Grafik Kompreabilitas Stone Column.....	83
Gambar 5.25 Mitigasi Potensi Likuifaksi berdasarkan Lapisan Terlikuifaksi..	85

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi sering menyebabkan kerusakan pada bangunan yang berada jauh dari pusat gempa. Variasi tingkat kerusakan pada bangunan menunjukkan bahwa kondisi lapisan tanah memiliki dampak signifikan terhadap karakteristik gelombang seismik. Tanah lunak memperkuat frekuensi tertentu dari getaran gempa. Hal ini bisa sangat ekstrem di daerah dengan lapisan tanah lunak yang tebal, di mana perubahan kekakuan material pada batas antara lapisan batuan dasar dan tanah lunak dapat menyebabkan amplifikasi. (Tohari et al., 2019).

Likuifaksi adalah fenomena di mana kekuatan dan kekakuan tanah menurun akibat gempa bumi atau pergerakan tanah lainnya. Proses ini mengubah tanah dari keadaan padat menjadi cair karena pembebanan siklik selama getaran seismik, yang menyebabkan peningkatan tekanan air pori hingga mendekati atau melebihi tegangan vertikal. Zona lemah dan likuifaksi ini mengakibatkan penurunan rumah dan pondasi bangunan, keretakan jalan dan bantaran sungai, serta perpindahan lateral dan tanah longsor. (Setiawan & Kurniawan, 2021).

Gempa bumi merupakan bencana alam yang datangnya secara tiba-tiba dan dalam waktu yang relatif singkat menghancurkan semua yang ada di muka bumi ini baik harta, benda dan manusia. Gempa bumi yang perlu mendapatkan perhatian karena mempunyai pengaruh yang sangat mengerikan adalah gempa tektonik. Hal yang perlu diketahui adalah besarnya frekuensi yang terjadi, energi yang dibebaskan dan luas pengaruhnya dalam kaitannya dengan pergerakan lempeng tektonik. Akibat gempa bumi tektonik dapat menimbulkan pergeseran sepanjang bidang patahan dengan kisaran 1 – 10 m dan umumnya 0,2 – 0,8 m (Hidayat & Santoso, 1997).

Karena banyaknya dampak negatif yang diakibatkan dari peristiwa likuifaksi ini maka diperlukannya analisis awal guna mengetahui daerah mana saja yang berpotensi untuk terjadi likuifaksi. Dengan dilakukannya analisis potensi likuifaksi ini bermanfaat guna untuk mencegah terjadinya bangunan roboh akibat pondasi yang tidak dapat menahan beban bangunan ketika terjadi likuifaksi.

Untuk menganalisis potensi terjadinya likuifaksi pada suatu titik/daerah dapat menggunakan data pengujian SPT (*Standard penetration test*). Dalam tugas akhir ini, penulis akan membahas salah satu kegagalan struktur tanah akibat gempa, yaitu likuifaksi. Lokasi yang ditinjau untuk penelitian ini adalah proyek pembangunan Bethsaida *Hospital* Serang, yang terletak di Banten.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

- a. Bagaimana mengetahui potensi likuifaksi di daerah proyek pembangunan Bethsaida *Hospital* Serang dengan data SPT ?
- b. Berapa faktor keamanan terhadap likuifaksi pada lokasi yang ditinjau ?
- c. Bagaimana perubahan yang terjadi pada faktor keamanan akibat pemasangan *stone column* sebagai metode perbaikan tanah ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut :

- a. Menganalisis potensi likuifaksi di daerah proyek pembangunan Bethsaida *Hospital* Serang dengan data SPT.
- b. Mengetahui nilai faktor keamanan terhadap likuifaksi pada lokasi yang ditinjau.
- c. Mengetahui perubahan yang terjadi pada faktor keamanan akibat pemasangan *stone column* sebagai metode perbaikan tanah.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

- a. Pengambilan data tanah pada penelitian ini dilakukan pada lokasi proyek pembangunan Bethsaida *Hospital* Serang.
- b. Data yang digunakan untuk menganalisis potensi likuifaksi menggunakan data SPT.
- c. Analisis nilai percepatan gempa di permukaan menggunakan software *Deepsoil*.
- d. Analisis pemasangan *stone column* untuk mengetahui faktor keamanan setelah perbaikan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memperluas pemahaman tentang analisis potensi likuifaksi dan meningkatkan pengetahuan di bidang geoteknik terkait likuifaksi.

1.6 Keaslian Penelitian

Penelitian analisis potensi likuifaksi berdasarkan data SPT dan alternatif perbaikannya dengan metode *stone column* dengan studi kasus di proyek pembangunan Bethsaida *Hospital* Serang, Banten belum pernah dilakukan sebelumnya sehingga penelitian ini bersifat asli.

DAFTAR PUSTAKA

- Alizadeh Mansouri, M., & Dabiri, R. (2021). Predicting the liquefaction potential of soil layers in Tabriz city via artificial neural network analysis. In *SN Applied Sciences* (Vol. 3, Issue 7). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04704-3>
- Barksdale, R.D. and Bachus, R. C. (1983). Design and construction of stone columns. *FHWA/RD-83/026, Federal Highway Administration, Washington, D.C.*
- Barksdale, R. D., & Bachus, R. C. (1983). Design and construction of stone columns volume 1. *Federal Highway Administration, I*(December), 1–212.
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik. *Penerbit Erlangga*, 1–300.
- Fajarwati, Y., & Kusuma, R. I. (2021). Analisis Potensi Likuefaksi dan Perbaikan Tanah dengan Stone Column: Studi Kasus pada Coal Shelter PLTU Lontar, Banten. *INERSIA: LNformasi Dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 17(1), 27–35. <https://doi.org/10.21831/inersia.v17i1.40570>
- Fathonah, W., Mina, E., Indera Kusuma, R., & Hutami, R. (2021). Analisis Potensi Likuefaksi Dan Alternatif Perbaikannya Dengan Metode Stone Coloumn. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*, 2021.
- Hidayat, N., & Santoso, E. W. (1997). Gempa Bumi Dan Mekanismenya. In *Alami: Jurnal Teknologi Reduksi Resiko Bencana* (Vol. 2, Issue 3, p. 50).
- Listiyanti, C., Setiyarto, Y. D., & Meiwa, S. (2022). Analisis Metode Perbaikan Stone Column Di Tanah Pasir Lepas Pada Zona Potensi Likuefaksi. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, 3(2), 17–26. <https://doi.org/10.34010/crane.v3i2.8242>
- Mina, E., & Kusuma, R. I. (2013). Analisis Site Specific Response Spectra Gempa Berdasarkan Parameter Dinamis Tanah Untuk Wilayah Cilegon. *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 49–56. <https://doi.org/10.36055/jft.v2i1.1990>
- Mina, E., Kusuma, R. I., & Sudirman, S. (2018a). Analisa Potensi Likuefaksi Berdasarkan Data Spt (Studi Kasusproyek Pembangunan Gedung Baru Untirta Sindang Sari). *Jurnal Fondasi*, 7(1). <https://doi.org/10.36055/jft.v7i1.3298>

- Mina, E., Kusuma, R. I., & Sudirman, S. (2018b). Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Spt (Studi Kasusproyek Pembangunan Gedung Baru Untirta Sindang Sari). *Jurnal Fondasi*, 7(1), 11–21. <https://doi.org/10.36055/jft.v7i1.3298>
- Pandiangan, B., Jafri, M., & Iswan, I. (2016). Pengaruh Variasi Waktu Pemeraman Terhadap Daya Dukung Tanah Lempung dan Lanau yang Distabilisasi Menggunakan Semen pada Kondisi Tanpa Rendaman (Unsoaked). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 4(2), 256–275.
- Purbandini, P., Santosa, B. J., & Sunardi, B. (2017). Analisis Bahaya Kegempaan di Wilayah Malang Menggunakan Pendekatan Probabilistik. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 6(2). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v6i2.25221>
- Reni Anggraini. (2023). *Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Spt Pada Proyek Pembangunan Menara Bri Kota Medan*.
- Setiawan, H., & Kurniawan, S. (2021). Karakteristik Tanah Terdampak Dan Tidak Terdampak Likuifaksi Berdasarkan Uji Swedish Weight Sounding Pada Kelurahan Petobo. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 1–7. <https://doi.org/10.33369/ijts.13.1.1-7>
- Sihombing, I. H. S. M. (2012). *Studi Parameter Perencanaan Stone Column untuk Perbaikan Bearing Capacity dan Settlement pada Tanah Lempung*. 1–6.
- Soehaimi, A. (2008). Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa. *Indonesian Journal on Geoscience*, 3(4), 227–240. <https://doi.org/10.17014/ijog.3.4.227-240>
- Tohari, A., Syahbana, A. J., Satriyo, N. A., & ... (2019). Karakteristik likuifaksi tanah pasir di kota padang berdasarkan metode microtremor. ... *Hasil Penelitian Puslit ...*, July, 978–979.
- Ukuran, B. D. A. N. (n.d.). *Buku-Gempabumi-Dan-Tsunami*.