

## Kajian *site specific seismic analysis (SSSA)* tanah lunak lapis tebal di kawasan tol Semarang-Demak

Refi Cindi Meilani<sup>1</sup>, Angga Fajar Setiawan<sup>1\*</sup>, Ali Awaludin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

### Article Info

Available online

### Keywords:

Tanah lunak  
Site-specific seismic  
Ground motion  
Response spectra

### Corresponding Author:

Angga Fajar Setiawan  
angga.fajar.s@ugm.ac.id

### Abstract

*In this case, there is a deep (80 m) soft soil layer located at the Semarang-Demak toll road site. Soft soil has the potential to amplify low-frequency seismic waves that can trigger resonance and high-amplitude seismic load excitation. This would threaten the secure of the infrastructure above it. Therefore, in the seismic design of the infrastructure on the site, site-specific analysis needs to be conducted. This study discusses the SSSA analysis of the Semarang-Demak toll road site using 1D dynamic analysis methods, both linearly and nonlinearly, with DEEPSOIL software. The soil dynamic analysis is conducted with some input data, i.e., earthquake data, soil dynamic parameters, and soil stratigraphy profiles that are matched with the response spectra design (SNI 2833:2016 code) of the site. The results show that both equivalent linear and nonlinear site response analyses generate significantly higher responses than response spectra designed below the soil natural period. However, in the higher natural period, both soil analysis results show higher response amplification at a particular frequency; nonlinear analysis exhibits lower responses than linear equivalent analysis. Thus, the nonlinear analysis more accurately represented the real condition of the site in calculating seismic response analysis than the than the equivalent linear method, resulting in more coincidence with the response spectra design.*

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia  
All rights reserved

### Pendahuluan

Hubungan antara data seismik, seperti respon spektra dan ground motion, dengan tanah lunak merupakan aspek yang sangat penting dalam rekayasa gempa bumi. Pada hasil pengujian di lapangan penelitian sebelumnya, diketahui jika daerah Semarang – Demak memiliki sifat tanah lunak yang dalam hingga 80 m (Ralindra, 2022).

Tanah lunak memiliki karakteristik fisik dan mekanik yang berbeda dari tanah keras atau batuan dasar, yang secara signifikan memengaruhi bagaimana gelombang seismik merambat melalui tanah tersebut (Chotimah, Prasetyo, Firdaus, & Harintaka, 2022). Tanah lunak cenderung memperkuat gelombang seismik ketika gelombang bergerak dari batuan dasar yang lebih keras ke lapisan tanah

yang lebih lunak, sehingga amplitudo gelombang meningkat (Ralindra, 2022). Hal ini disebabkan oleh modulus geser yang lebih rendah dan kemampuan redaman yang lebih tinggi pada tanah lunak dibandingkan dengan tanah keras atau batuan (Safitri, Adrianto, & Nurjaya, 2023).

Selain itu, tanah lunak dapat mengubah frekuensi dominan dari gelombang seismik, di mana frekuensi yang lebih rendah sering kali diperkuat, yang dapat menyebabkan resonansi dan kerusakan struktural pada bangunan dengan periode alami yang bertepatan dengan frekuensi tersebut (Firman, 2022). Tanah lunak juga dapat memperpanjang durasi getaran seismik karena kemampuannya menyimpan dan melepaskan energi seismik lebih lambat, yang mengakibatkan getaran di area dengan tanah lunak berlangsung lebih

lama dan meningkatkan potensi kerusakan struktur (Ralindra, 2022). Respon spektra tanah lunak biasanya menunjukkan puncak yang lebih tinggi pada frekuensi tertentu dibandingkan dengan batuan dasar, menunjukkan bahwa struktur di atas tanah lunak merespons gerakan tanah dengan lebih intens pada frekuensi tertentu. Hal ini perlu diperhitungkan dalam desain bangunan tahan gempa (Safitri et al., 2023). Berbagai studi di Jepang dan Meksiko menunjukkan bahwa struktur di atas tanah lunak mengalami kerusakan lebih parah dibandingkan dengan struktur di batuan dasar selama gempa besar (Ralindra, 2022). Contoh lainnya adalah gempa Loma Prieta 1989 di California, di mana daerah dengan tanah lunak seperti San Francisco Bay Area mengalami kerusakan yang lebih signifikan dibandingkan dengan daerah yang berada di atas batuan dasar (Firman, 2022).

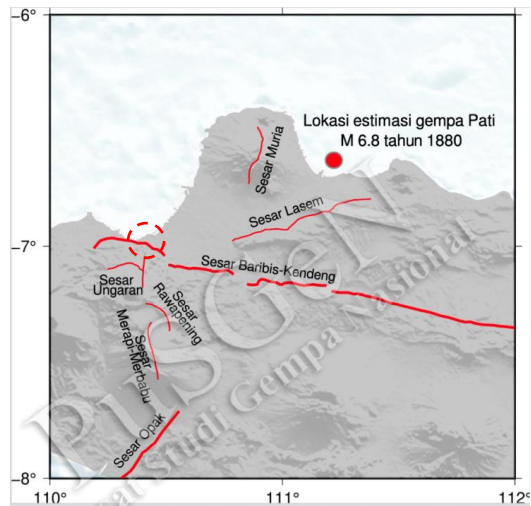
*Site-specific seismic analysis* pada tanah lunak adalah proses evaluasi yang disesuaikan dengan karakteristik geoteknik dari suatu lokasi spesifik untuk menentukan respon seismik lokal. Evaluasi tersebut memerlukan data geoteknik yang mendetail, termasuk kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ), profil tanah, serta parameter *nonlinier* dan *equilivient linier* untuk setiap lapisan tanah (Safitri et al., 2023). Kajian *site-response seismic analysis* mengevaluasi respon spektra dan ground motion pada tanah lunak yang dalam, sering menggunakan DEEPSOIL untuk analisis dinamis 1D dengan pendekatan *nonlinier* dan *equilivient linier*. Proses ini melibatkan penggunaan data input gempa bumi, parameter dinamis tanah, dan profil stratigrafi tanah untuk mensimulasikan respon seismik. Hasil analisis pada 7 pasang gempa yang berbeda menunjukkan variasi signifikan pada respon spektra dan *ground motion* untuk setiap lapisan tanah lunak. Perbedaan hasil antara kondisi *nonlinier* dan *equilivient linier* memberikan wawasan mendalam tentang perilaku tanah lunak selama gempa, membantu dalam merancang struktur yang lebih aman dan andal pada kondisi tanah yang kompleks (Chotimah et al., 2022).

Penelitian sebelumnya, yang dilakukan di Kathmandu oleh (Bhusal, Aaqib, Paudel, & Parajuli, 2022), menekankan kebutuhan untuk analisis bahaya seismik khusus untuk situs. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa spektrum respon rata-rata dari analisis *equilivient linier* yang setara lebih tinggi dibandingkan dengan analisis *nonlinear*. Metode *equilivient linier* telah terbukti lebih efektif daripada metode non-linear dalam menghitung respons seismik terhadap tanah lunak, terutama dalam kasus gempa bumi yang kuat (Xiao, Cui, Li, & Nguyen, 2022). Meskipun berbagai penelitian telah mengevaluasi respon seismik tanah lunak menggunakan metode *equilivinet linier* dan *nonlinier* di berbagai lokasi, kajian *site-specific seismic analysis* (SSSA) di daerah Semarang-Demak belum dilakukan. Daerah ini memiliki sifat tanah lunak yang dalam menurut hasil pengujian lapangan diketahui hingga kedalaman 80 m. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji *site-specific seismic analysis* (SSSA) di Semarang-Demak, menggunakan pendekatan *nonlinier* dan *equilivient linier*, untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang perilaku seismik tanah lunak di daerah ini. Hasil penelitian ini akan memberikan dasar yang kuat untuk desain bangunan tahan gempa yang lebih efektif dengan mempertimbangkan kondisi spesifik lapangan sehingga dapat mengurangi risiko kerusakan gempa di daerah Semarang-Demak yang rentan terhadap gempa bumi dan dekat dengan patahan Baribis-Kendeng yaitu 5.27 km dapat dilihat pada Gambar 1.

### **Parameter deagregasi**

Deagregasi gempa merupakan proses memisahkan berbagai sumber gempa dan parameter seismik terhadap risiko seismik di lokasi tertentu. Deagregasi membantu mengidentifikasi sumber gempa, magnitudo, dan jarak yang paling berpengaruh terhadap respons seismik di lokasi penelitian. Parameter deagregasi gempa dapat dilihat pada buku peta deagregasi bahaya gempa Indonesia untuk perencanaan dan evaluasi infrastruktur tahan gempa. Lokasi penelitian

akan digunakan untuk struktur jembatan, oleh karena itu digunakan perioda ulang 1000 tahun.



Gambar 1. Peta lokasi sesar Baribis-Kendeng (Indonesia, 2023)

### Pemilihan *ground motion*

Pemilihan *ground motion* sangat mempengaruhi hasil analisis. Oleh karena itu rekaman *ground motion* dipilih dari sumber gempa yang berasal dari luar Indonesia dan dibatasi hanya rekaman gempa yang tersedia di *website* PEER NGA West, karena ketersediaan rekaman *ground motion* di Indonesia masih sangat terbatas. Namun sebaiknya rekaman gempa yang digunakan sedapat mungkin lebih mewakili dari aspek magnitudo, jarak sesuai dengan hasil deagregasi yaitu dengan menambahkan referensi sumber rekaman gempa.

### Spectral matching

*Spectral matching* adalah cara yang digunakan untuk menyesuaikan rekaman gempa yang didapatkan melalui *website* PEER NGA-West sehingga sesuai dengan desain *response spectra* yang diinginkan. Hal tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa rekaman gempa yang digunakan dalam simulasi dan perancangan bangunan dapat mempresentasikan potensi gempa yang relevan dengan lokasi dan karakteristik bangunan tersebut. *Spectral matching* dilakukan dengan menggunakan aplikasi *seismomatch*.

### Analisis SSSA dengan *dynamic ID*

Hasil data Riwayat gempa yang sudah diskala sehingga menyerupai perilaku gempa dilapangan selanjutnya diinputkan kedalam aplikasi DEEPSOIL sehingga dapat diketahui perilaku *ground motion* pada setiap lapis tanah baik dalam kondisi *nonlinear* dan *equilivient linier*. Dilakukan analisis dengan kedalaman tanah 80 m dengan data profil tanah pada Tabel 1. Nilai yang didapatkan pada profil tanah berasal dari data tanah lapangan. Pendekatan studi untuk kurva modulus reduksi dan redaman menggunakan (Darendeli, 2001) karena mampu mencakup demua pengaruh signifikan di seluruh rentang regangan (Marasabessy, Masyhur Irsyam, & Yuamar I Basarah, 2024). *Shear wave* didapatkan dengan teori Hasancebi dan Ulusay (Brandenberg & Shantz, 2010). Nilai  $C_u$  didapatkan dari hubungan nilai kohesi dan N-SPT pada tanah kohesi (terzaghi,1943). Analisis menggunakan asumsi *elastic half space* karena ketebalan tanah dibawah 300 m dengan nilai frekuensi maksimal sebesar 30 Hz indikator tersebut direkomendasikan oleh (Misliniyati, Sahadewa, Hendriyawan, & Irsyam, 2019).

### Hasil dan Pembahasan

#### *Respon spektra*

Lokasi penelitian yaitu Demak dengan garis lintang  $-6.9538201$  dan garis bujur  $110.4485173$ . Hasil parameter yang didapatkan  $S_s = 0.75 g$ ,  $S_1 = 0.337 g$ , dan  $PGA = 0.33 g$ . Nilai  $F_{PGA}$ ,  $F_a$ , dan  $F_v$  dianggap di bedrock didapatkan dari SNI 2833: 2016  $F_{PGA}$ ,  $F_a$ , dan  $F_v = 1$ . Menurut SNI 2833:2016 respon spektra didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1. Profil tanah

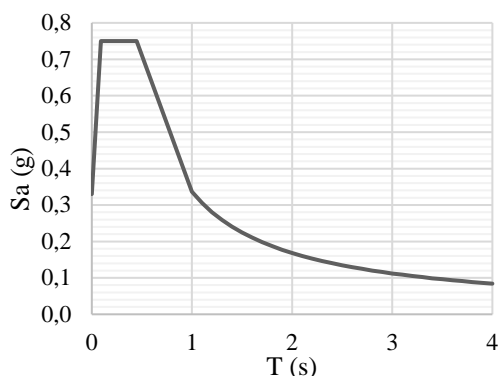
Jenis Tanah	Kedalaman (m)	Thickness (m)	N	Shear Wave (Vs) (m/s)	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cu (kPa)	Sudut geser °	Ko
Sand	1-10.50	10.5	8.524	175	26	5.11	35	1.4
Clay	10.50-50	39.5	8.524	175	26	5.11	25	1.25
Sand	50-52	2	13	199	23.9	7.8	35	1.4
Clay	52-78	26	8.524	175	26.4	5.11	25	1.12
Sand	78-80	2	24	240	25.8	14.4	36	1.66

Tabel 2. Parameter deagregasi di lokasi Demak

Sumber	Magnitudo			Jarak (km)		
	PGA	0.2s	3s	PGA	0.2s	3s
Shallow Crustal	6-6.2	6.2-6.4	6.4-6.6	30-40	30-40	10-20
Benioff	7.2-7.4	7.2-7.4	7.4-7.6	150-200	150-200	150-200
Megathrust	8.6-8.8	8.6-8.8	8.6-8.8	200-250	200-250	200-250
All Source	6.6-6.8	7-7.2	8.2-8.4	80-100	80-100	200-250

Tabel 3. Data rekaman gempa

NO	Sumber Gempa	RSN	Nama Kejadian	Tahun	PGA (g)		M	R (km)	Vs30 (m/s)
					Original	Matched			
1	Shallow Crustal	125	Friuli, Italy-01 (N-S)	1976	0.357	0.458	6.5	19.01	505.23
			Friuli, Italy-01 (E-W)		0.315	0.413			
2	Shallow Crustal	342	Coalinga-01 (N-S)	1983	0.14	0.329	6.36	37.22	211.74
			Coalinga-01 (E-W)		0.164	0.386			
3	Shallow Crustal	511	N. Palm Springs (N-S)	1986	0.097	0.418	6.06	38.43	680.37
			N. Palm Springs (E-W)		0.119	0.374			
4	All Source	972	Northeridge-01 (N-S)	1994	0.104	0.38	6.69	82.32	367.54
			Northeridge-01 (E-W)		0.099	0.424			
5	Shallow Crustal	1659	Northeridge (N-S)	1994	0.053	0.376	6.05	33.8	365.22
			Northeridge (E-W)		0.115	0.484			
6	Shallow Crustal	3317	Chichi, Taiwan (N-S)	1999	0.13	0.396	6.3	35.97	258.89
			Chichi, Taiwan (E-W)		0.147	0.422			
7	Benioff	14	Kern Country (N-S)	1952	0.09	0.442	7.36	82.19	514.99
			Kern Country (E-W)		0.132	0.528			



Gambar 2. Grafik respon spektra batuan dasar

### Deagregasi

Analisis deagregasi dengan periode ulang 1000 tahun berdasarkan (Indonesia, 2023) menghasilkan parameter sumber gempa pada *site* yang dijelaskan pada Tabel 2. Hasilnya didapatkan parameter sumber gempa yang terdiri dari *shallow crustal*, *benioff*, *megathrust*, dan *all source*. Namun, sumber gempa yang digunakan pada kondisi *shallow crustal*, *benioff*, dan *all source* karena sumber gempa *megathrust* tidak terdapat data gempa yang sesuai dengan rentang parameter deagregasi. Parameter yang didapatkan menjadi acuan untuk mencari sumber gempa yang lebih spesifik sehingga menyerupai dengan kondisi gempa yang terjadi di lapangan terutama pada jarak, *magnitude*, dan nilai  $V_{s30}$ . Parameter tersebut kemudian digunakan sebagai *input* dalam menghitung percepatan spektral pada batuan dasar (*bedrock*) melalui persamaan *ground motion prediction equation* (GMPE).

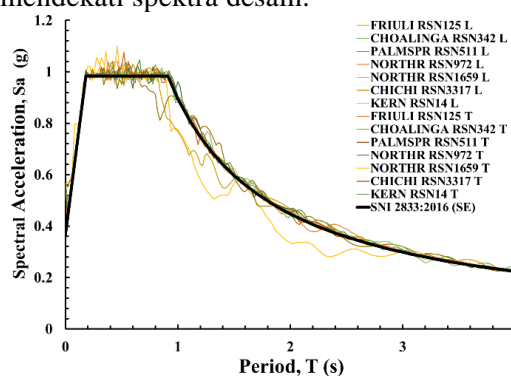
### Spesifikasi Ground motion

Analisis *ground motion* yang didapatkan dari *website* PEER NGA-West menggunakan parameter *input* berupa parameter sumber gempa dan karakteristik *site*. Sehingga digunakan data 7 pasang rekaman gempa yang detailnya dijelaskan pada Tabel 3.

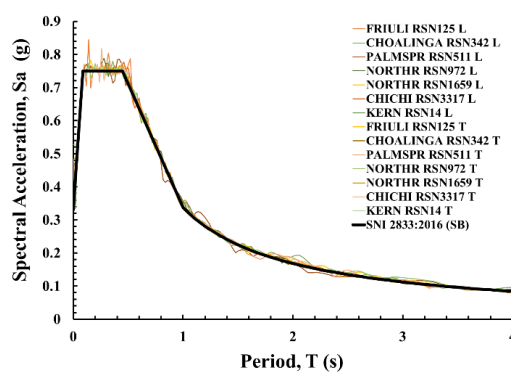
### Spectral matching

Berdasarkan hasil *spectra matching* rekaman gempa menggunakan *software* Seismomatch, grafik *ground motion* dan *response spectral matching* terhadap

spektra desain berdasarkan SNI 2833-2016 disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Gambar 3 merupakan visualisasi hasil *response spectral matching* yang biasa digunakan untuk desain seismik struktur jembatan di atas tanah lunak (SE). Sedangkan, Gambar 4 merupakan hasil *response spectra matching* pada tanah batuan (SB) dimana hasil tersebut digunakan dalam input gerak tanah batuan dasar pada *site-specific seismic analysis*. Hasil *response spectra matching* menunjukkan bahwa respon spektra *ground motion* sudah mendekati spektra desain.



Gambar 3. Respon spektra permukaan pada tanah lunak.

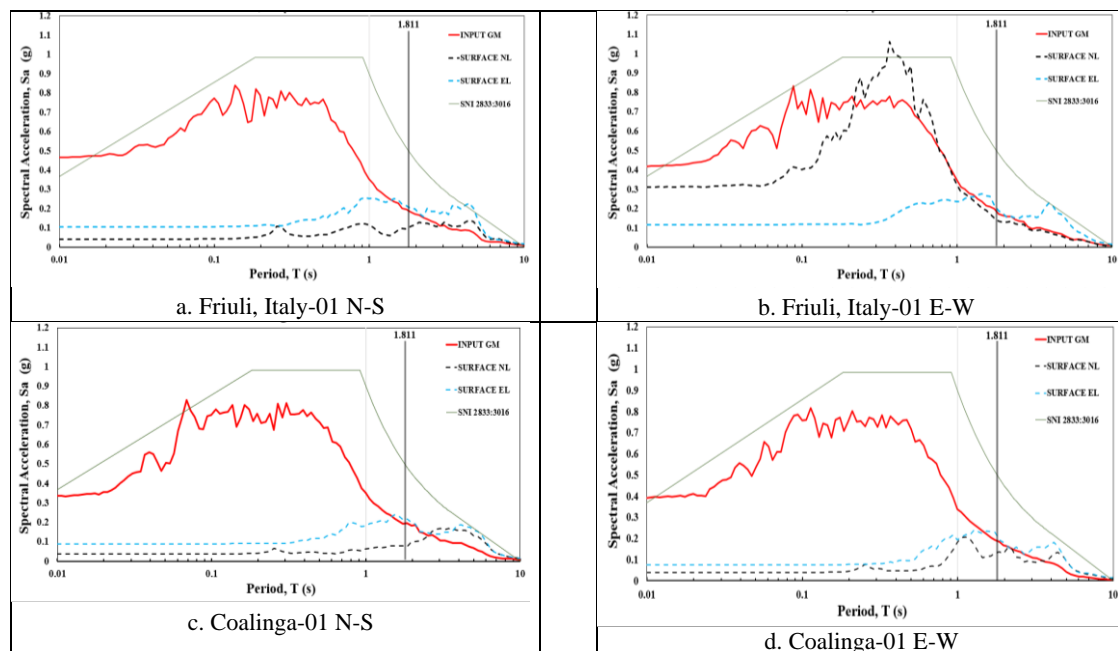


Gambar 4. Respon spektra permukaan pada batuan. \*"L" = arah longitudinal (N-S) dan "T" = arah transversal (E-W)

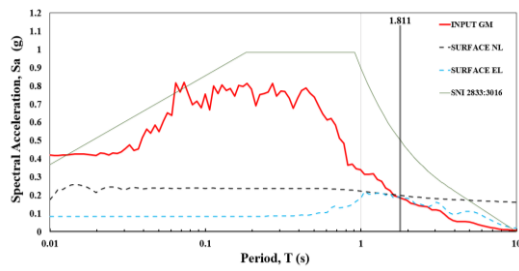
**Hasil analisis SSSA**

Berdasarkan modal analisis model 1D, periode alami tanah sebesar 1.881 detik. Hal ini menunjukkan perilaku tanah yang cenderung fleksibel. Pada bangunan dengan periode getar alami yang panjang di lokasi tersebut, resonansi akan mudah terjadi. Hasil analisis dinamik 1D, *response spectra acceleration* permukaan tanah baik metode *equivalent linear* dan *nonlinear* lebih rendah dibandingkan dengan spektra desain pada SNI 2833:2016. Namun, hasil nalisis *equivalent linear* memberikan hasil lebih besar dibandingkan dengan analisis *nonlinear*. Hal tersebut sesuai dengan hasil analisis yang dilakukan pada penelitian sebelumnya (Bhusal et al., 2022). Grafik *response spectra acceleration* permukaan tanah ditunjukkan pada Gambar 5. Periode yang terjadi sebelum periode alami tanah *response spectra acceleration* menunjukkan

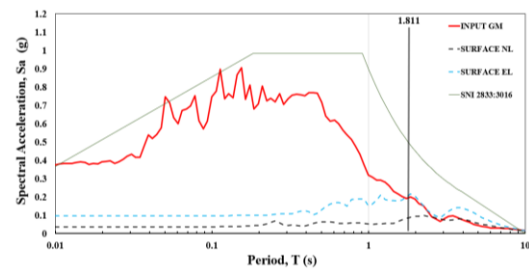
perilaku yang lebih kecil dibandingkan setelah terlampaui periode alami. Hal ini menunjukkan analisis SSSA menimbulkan deamplifikasi dibawah periode alami. Setelah terlampaui periode alami terjadi amplifikasi dengan *response spectra acceleration* sedikit melampaui spektra desain. Adapun hasil analisis *Response spectra displacement* permukaan tanah untuk metode *nonlinear* lebih kecil dibandingkan metode *equivalent linear* saat periode yang sama. Grafik *Response spectra displacement* ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil analisis *time history* didapatkan nilai motion pada setiap lapisan tanah. Nilai PGA yang didapatkan setelah dilakukan *matching* lebih besar dibandingkan sebelum dilakukan *matching*. Hasil analisis *time history* ditunjukkan pada Gambar 7.



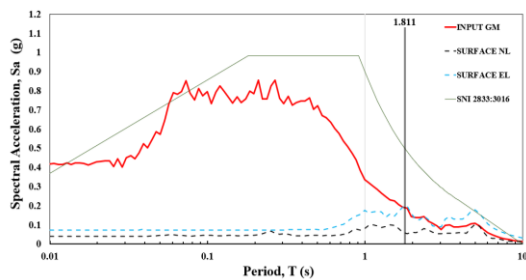
Gambar 5 Hasil analisis respon spektral untuk 7 pasang parameter gempa. \*"Input GM" = input percepatan gempa di bedrock, "Surface NL" = percepatan gempa permukaan kondisi nonlinier, "Surface EL" = percepatan gempa permukaan kondisi equilivient linier.



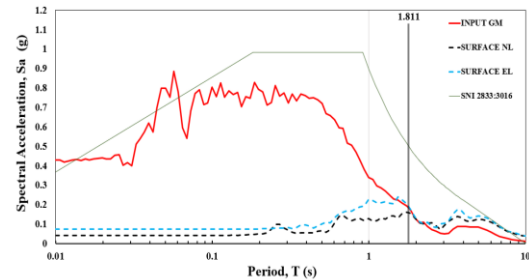
e. N.Palm Springs N-S



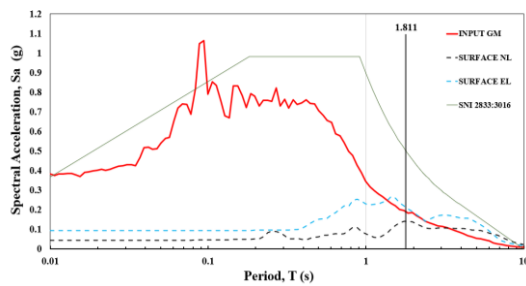
f. N.Palm Springs E-W



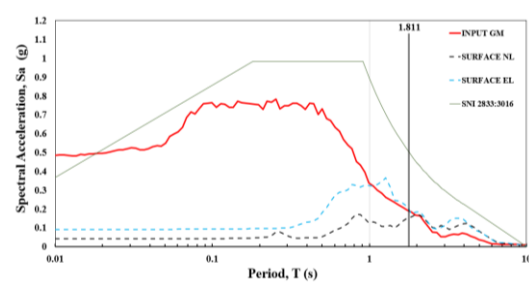
g. Northeridge-01 N-S



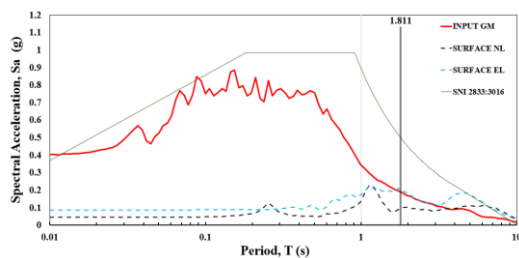
h. Northeridge-01 E-W



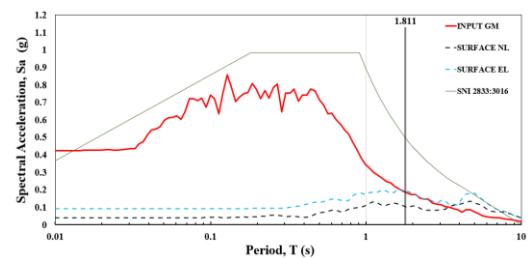
i. Northeridge N-S



j. Northeridge E-W

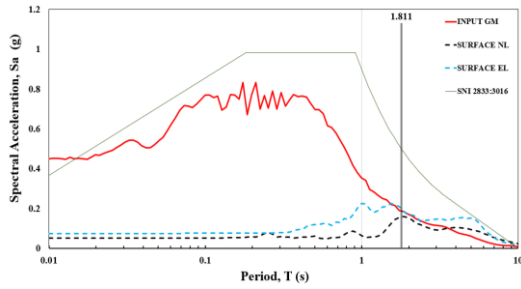


k. Chichi, Taiwan N-S

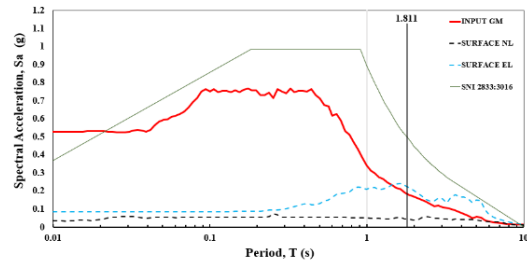


l. Chichi, Taiwan E-W

Gambar 5 Lanjutan Hasil analisis respon spektral untuk 7 pasang parameter gempa. \*"Input GM" = input percepatan gempa di bedrock, "Surface NL" = percepatan gempa permukaan kondisi nonlinier, "Surface EL" = percepatan gempa permukaan kondisi equivilient linier.

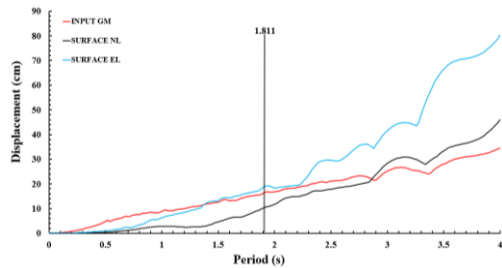


m. Kern Country N-S

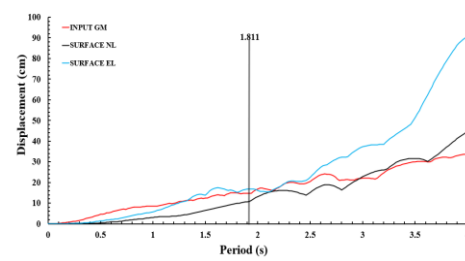


n. Kern Country E-W

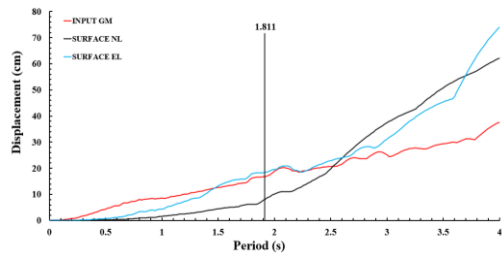
Gambar 5 Lanjutan Hasil analisis respon spektral untuk 7 pasang parameter gempa. \*"Input GM" = input percepatan gempa di bedrock, "Surface NL" = percepatan gempa permukaan kondisi nonlinier, "Surface EL" = percepatan gempa permukaan kondisi equilivient linier.



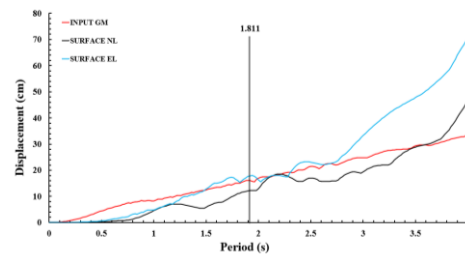
a. Friuli, Italy-01 N-S



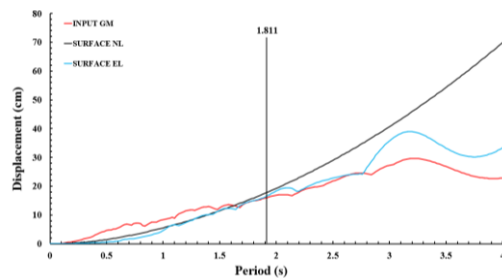
b. Friuli, Italy-01 E-W



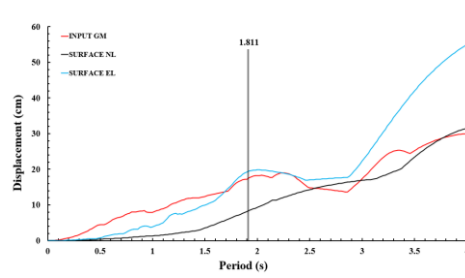
c. Coalinga-01 N-S



d. Coalinga-01 E-W

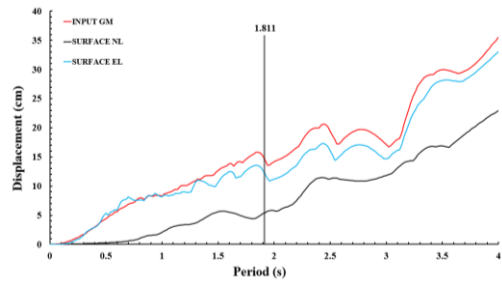


e. N.Palm Springs N-S

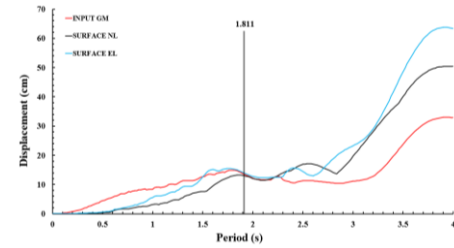


f. N.Palm Springs E-W

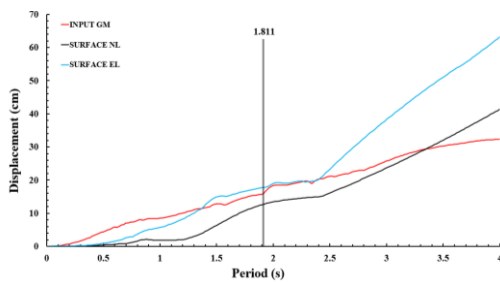
Gambar 6 Hasil analisis displacement untuk 7 pasang parameter gempa. \*"Input GM" = input percepatan gempa di bedrock, "Surface NL" = percepatan gempa permukaan kondisi nonlinier, "Surface EL" = percepatan gempa permukaan kondisi equilivient linier.



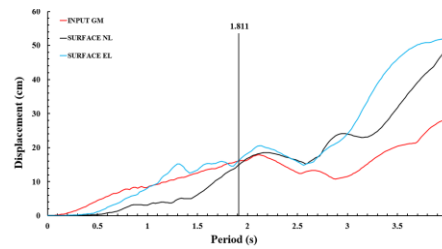
g. Northeridge-01 N-S



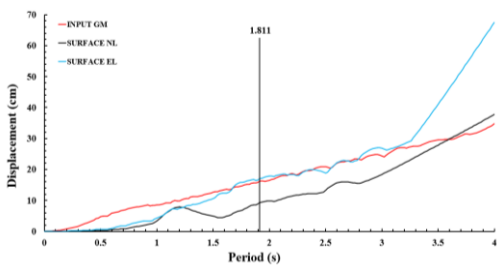
h. Northeridge-01 E-W



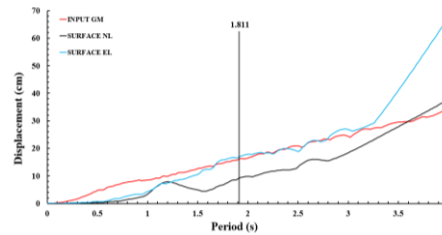
i. Northeridge N-S



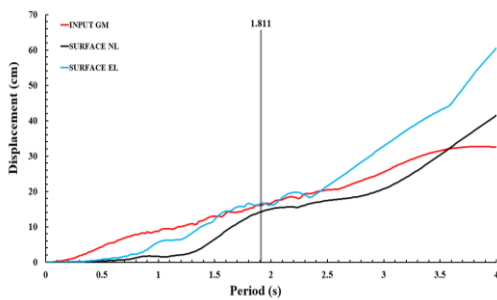
j. Northeridge E-W



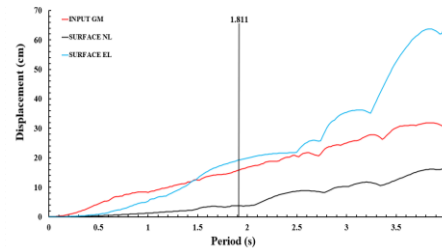
k. Chichi, Taiwan N-S



l. Chichi, Taiwan E-W

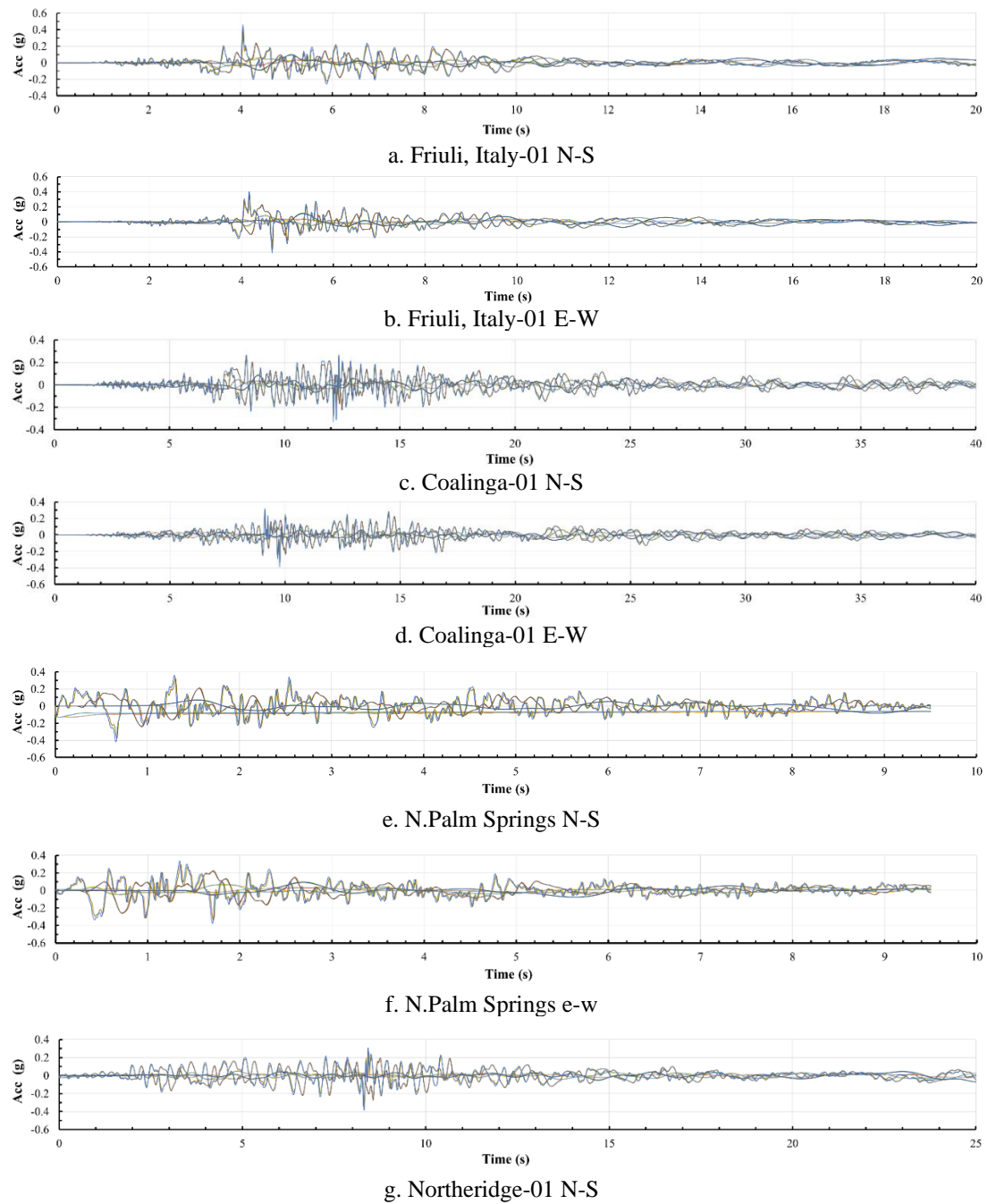


m. Kern Country N-S

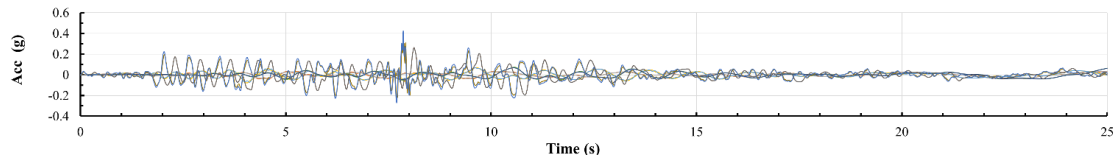


n. Kern Country E-W

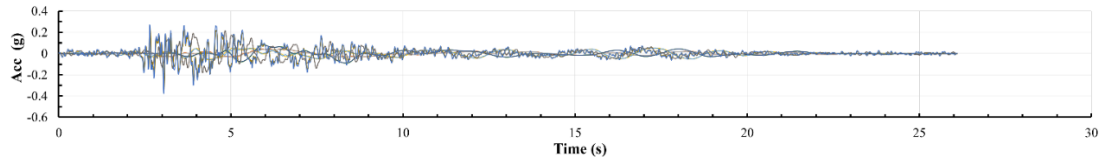
Gambar 6 Lanjutan Hasil analisis displacement untuk 7 pasang parameter gempa. \*"Input GM" = input percepatan gempa di bedrock, "Surface NL" = percepatan gempa permukaan kondisi nonlinier, "Surface EL" = percepatan gempa permukaan kondisi ekuilivient linier.



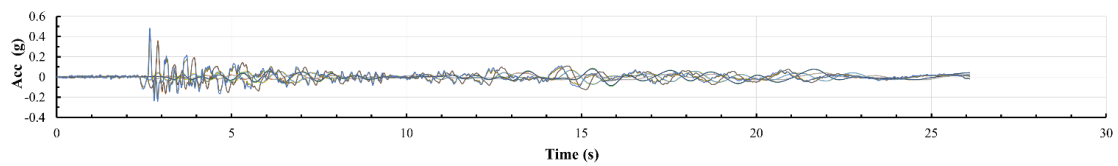
Gambar 7 Hasil analisis ground motion untuk 7 pasang parameter gempa



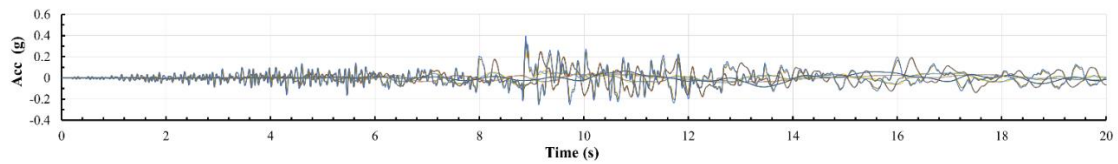
h. Northeridge-01 E-W



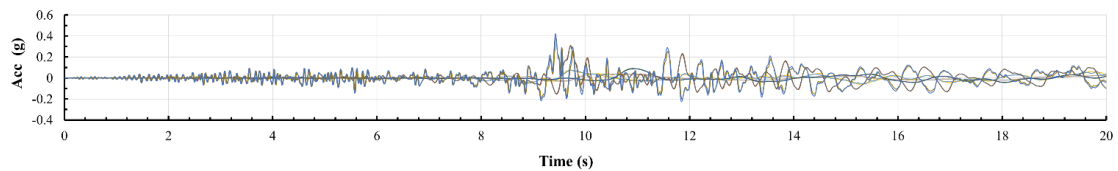
i. Northeridge N-S



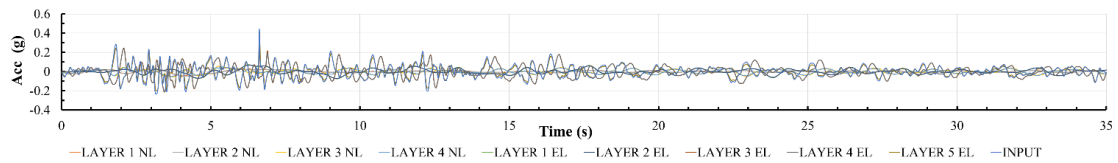
j. Northeridge E-W



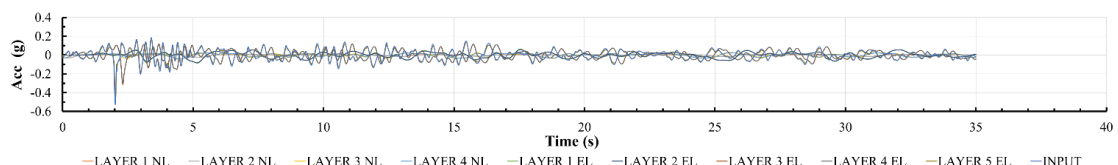
k. Chichi, Taiwan N-S



l. Chichi, Taiwan E-W



m. Kern Country N-S



n. Kern Country N-S

Gambar 7 Lanjutan Hasil analisis ground motion untuk 7 pasang parameter gempa

## Kesimpulan

Berdasarkan modal analisis model 1D, periode alami tanah sebesar 1.881 detik menunjukkan bahwa tanah di lokasi tersebut cenderung fleksibel. Hal ini mengindikasikan bahwa resonansi dapat terjadi dengan mudah pada bangunan yang memiliki periode getar alami panjang di lokasi tersebut. Analisis dinamik 1D, didapatkan bahwa akselerasi spektra respons permukaan tanah baik dengan metode *equivalent linear* maupun *nonlinear* lebih rendah dibandingkan dengan spektra desain pada SNI 2833:2016. Namun, metode *equivalent linear* menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan metode *nonlinear*. Grafik akselerasi spektra respons permukaan tanah menunjukkan bahwa sebelum mencapai periode alami tanah, spektra respons lebih kecil, yang mengindikasikan adanya deamplifikasi di bawah periode alami. Setelah melewati periode alami, terjadi amplifikasi dengan akselerasi spektra respons sedikit melampaui spektra desain. Selain itu, analisis displacement spektra respons permukaan tanah menunjukkan bahwa metode *nonlinear* menghasilkan nilai yang lebih kecil dibandingkan metode *equivalent linear* pada periode yang sama.

Dari analisis *time history*, nilai gerakan pada setiap lapisan tanah didapatkan, dengan nilai PGA menyesuaikan nilai gerakan puncak tanah (PGA).

## Acknowledgement

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Satuan Kerja Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak yang telah menyediakan data investigasi tanah untuk mendukung penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- Bhusal, B., Aaqib, M., Paudel, S., & Parajuli, H. R. (2022). Site specific seismic hazard analysis of monumental site Dharahara, Kathmandu, Nepal. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1), 2674–2696. <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2130109>
- Brandenberg, S. J., & Shantz, T. (2010). *PACIFIC EARTHQUAKE ENGINEERING Shear Wave Velocity as a Statistical Function of Standard Penetration Test Resistance and Vertical Effective Stress at Caltrans Bridge Sites*. (June).

- Chotimah, S. N., Prasetyo, Y., Firdaus, H. S., & Harintaka, H. (2022). Analisis Penurunan Muka Tanah Menggunakan Citra Sentinel 1a Dengan Metode Dinsar Tahun 2019-2021 (Studi Kasus : Pembangunan Jalan Tol Semarang Demak). *Elipsoida : Jurnal Geodesi Dan Geomatika*, 5(2), 53–60. <https://doi.org/10.14710/elipsoida.2022.16744>
- Darendeli, M. (2001). *Darendeli*. Austin: TX: University of Texas at Austin.
- Firman, A. (2022). ANALISIS PENURUNAN LAPISAN TANAH DASAR (SUBGRADE) JALAN SEMARANG – DEMAK ( STA 0 + 300 s/d 2 + 000). *Pena Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 36, 73. <https://doi.org/10.31941/jurnalpena.v36i0.2016>
- Indonesia, K. P. R. (2023). *Disusun oleh : Pusat Studi Gempa Nasional Kerjasama : Bandung: Direktorat Bina Teknik Perumahan dan Perumahan.*, 2022. <https://doi.org/https://doi.org/10.6084/m9.figshare.22122482.v1>
- Marasabessy, M. I., Masyhur Irsyam, & Yuamar I Basarah. (2024). Comparative Study of One-Dimensional Site Response Analysis on Deep Soft Clay Deposit using DEEPSOIL and NERA. *Indonesian Geotechnical Journal*, 3(1), 1–14. <https://doi.org/10.56144/igj.v3i1.81>
- Misliniyati, R., Sahadewa, A., Hendriyawan, & Irsyam, M. (2019). Parametric study of one-dimensional seismic site response analyses based on local soil condition of jakarta. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 51(3), 392–410. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2019.51.3.7>
- Ralindra, D. F. (2022). Modifikasi Perbaikan Tanah Dasar Tol Semarang–Demak: Metode Vacuum Preloading dengan Prefabricated Vertical Drain. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 20(2), 163. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v20i2.11188>
- Safitri, F., Adrianto, L., & Nurjaya, I. W. (2023). Pemetaan Kerapatan Ekosistem Mangrove Menggunakan Analisis Normalized Difference Vegetation Index di Pesisir Kota Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(2), 399–406. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i2.18173>
- Xiao, M., Cui, J., Li, Y. D., & Nguyen, V. Q. (2022). Nonlinear Seismic Response Based on Different Site Types: Soft Soil and Rock Strata. *Advances in Civil Engineering*, 2022(2000). <https://doi.org/10.1155/2022/5370369>