

## ANALISIS PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM MENGGUNAKAN PROGRAM *ProSHAKE* BERDASARKAN DATA CPT DI PURWOKERTO

### ANALYSIS OF PEAK GROUND ACCELERATION ( PGA ) USING THE *ProSHAKE* PROGRAM BASED ON CPT DATA IN PURWOKERTO

Amris Azizi<sup>1</sup>, Teguh Marhendi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains  
Universitas Muhammadiyah Purwokerto

#### Informasi Artikel

Dikirim, 3 Januari 2024  
Direvisi, 11 Januari 2024  
Diterima, 18 Januari 2024

#### Korespondensi Penulis:

Amris Azizi  
Program Studi Teknik Sipil  
Universitas Muhammadiyah  
Purwokerto  
JL. K.H. Ahmad Dahlan  
Purwokerto, 53182  
Email:  
amrissampang11@gmail.com

#### ABSTRAK

Pengukuran percepatan maksimum tanah (*Peak Ground Acceleration*, PGA) dapat dilakukan dengan *Accelerograph*, dengan pendekatan empiris atau dengan perangkat lunak. Dalam penelitian ini untuk menghitung percepatan tanah maksimum permukaan di Purwokerto menggunakan perangkat lunak *ProShake* dengan data tanah hasil uji CPT. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran besarnya percepatan tanah maksimum di Purwokerto serta dapat membantu dalam perencanaan struktur bangunan sarana dan prasarana. Analisis dilakukan dengan menginput data parameter dinamik tanah : modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), kecepatan rambat gelombang geser ( $V_s$ ), dan *damping* ( $\xi$ ). Data gempa menggunakan akselerogram gempa El Centro N-S yang telah direkam pada tanggal 15 Mei 1940. Hasil analisis didapat percepatan tanah maksimum mencapai 0,344 g atau sama dengan 344 cm/det<sup>2</sup>, jauh lebih besar dari percepatan puncak tanah di lokasi penelitian menurut pembagian wilayah gempa Indonesia, yaitu sebesar 0,15 g atau 150 cm/det<sup>2</sup>.

**Kata Kunci** : percepatan tanah, ProShake, CPT.

#### ABSTRACT

*Peak Ground Acceleration (PGA) measurements can be carried out with an accelerograph, with an empirical approach or with software. In this research, to calculate the maximum acceleration of surface soil in Purwokerto using ProShake software with soil data from CPT tests. It is hoped that the research results will provide an overview of the maximum ground acceleration in Purwokerto and can assist in planning the structure of building facilities and infrastructure. The analysis was carried out by inputting soil dynamic parameter data: maximum shear modulus ( $G_{max}$ ), shear wave propagation speed ( $V_s$ ), and damping ( $\xi$ ). The earthquake data used the El Centro N-S earthquake accelerogram which was recorded on May 15 1940. The results of the analysis showed that the maximum ground acceleration reached 0.344 g or equal to 344 cm/sec<sup>2</sup>, much greater than the peak ground acceleration at the research location according to Indonesia's earthquake area division. namely 0.15 g or 150 cm/sec<sup>2</sup>.*

**Keyword** : ground acceleration, ProShake, CPT.

## 1. PENDAHULUAN

Gempa merupakan getaran pada kulit bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi yang berasal dari kegiatan patahan di darat atau di laut, atau gerak penunjaman serta gerak tubrukan lempeng di bagian kulit bumi litosfer. Energi mekanik akibat batuan yang patah/pecah kemudian diubah menjadi energi gelombang yang menyebar ke segala arah (Widodo, 2001).

Kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa sangat tergantung pada beberapa parameter : lama getaran, keadaan tanah/geologi setempat, kedalaman sumber gempa, jarak pusat gempa, besaran gempa, kekuatan, serta daktilitas dan kesatuan bangunan. Selain itu korban akibat gempa bergantung pada faktor kepadatan penduduk, saat terjadinya gempa, dan kesiapan penduduk (Sarwidi, 2007)

Percepatan gelombang gempa yang sampai di permukaan bumi disebut percepatan tanah. Pengukuran percepatan tanah dilakukan dengan *Accelerograph* atau dengan pendekatan dari beberapa formula yang diturunkan dari magnitude gempa atau/dan data intensitas. Perhitungan besarnya percepatan tanah maksimum secara empiris misalnya dengan metode Donovan, Guirre, Fukushima-Tanaka dan lain-lain (Kusumawardani, dkk., 2020).

Analisis percepatan tanah maksimum dipermukaan ditentukan oleh parameter dinamik tanah : modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), kecepatan rambat gelombang geser ( $V_s$ ), dan *damping* ( $\xi$ ). Nilai modulus geser dan *damping ratio* bergantung pada beberapa faktor, seperti jenis tanah, tekanan keliling (*confining pressure*), tingkat regangan dinamik, derajat kejenuhan, frekuensi, magnitude tegangan dinamik, dan regangan dinamik (Elgamal, et.al, 2005).

Parameter dinamik tanah dapat ditentukan dengan tes lapangan atau laboratorium. Nilai  $G_{max}$  atau  $V_s$  biasanya dikorelasikan dengan kuat geser tanah yang diperoleh dari tes laboratorium ataupun besaran-besaran yang diperoleh dari tes lapangan seperti nilai N-SPT dan  $q_c$  sondir.

Penelitian bertujuan untuk menghitung percepatan maksimum tanah permukaan di Purwokerto. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *ProShake* berdasarkan data tanah hasil uji CPT. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran besarnya percepatan tanah maksimum di Purwokerto serta dapat membantu dalam perencanaan struktur bangunan sarana dan prasarana.

## 2. METODE PENELITIAN

Data jenis tanah, sifat-sifat fisik dan teknis serta parameter dinamik tanah, diperoleh dari uji sondir/penetrasi di lapangan dan uji laboratorium terhadap sampel tanah. Uji laboratorium meliputi analisa ukuran butiran tanah, kadar air, uji tekan bebas (*unconfined compression test*), uji geser langsung (*direct shear test*) dan berat unit tanah ( $\gamma$ ). Parameter dinamik gempa diantaranya data rekaman gempa yang akan dipakai dalam analisis dan beberapa parameter lain *include* dalam program. Parameter-parameter tersebut kemudian diolah dan dianalisis dengan bantuan program komputer *Proshake* untuk memperoleh respons dinamik yang diperlukan.

Karena data akselerograf daerah Purwokerto belum tersedia, maka digunakan akselerogram gempa El Centro N-S yang telah direkam pada tanggal 15 Mei 1940 (SNI, 2002).

Parameter dinamik tanah : modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), kecepatan rambat gelombang geser ( $V_s$ ), dan faktor *damping* ( $\xi$ ), menggunakan formula yang disarankan oleh Chasanudin, dkk.(1999).

Besarnya  $G_{max}$  dihitung dengan persamaan Rix dan Stokoe (1991).

$$G_{max} = 1634 (q_c)^{0.250} (\sigma_v')^{0.375} \quad (\text{untuk pasir berdasarkan penelitian di Italia})$$

$G_{max}$ ,  $q_c$ , dan  $\sigma_v'$  dalam kPa

Kecepatan rambat gelombang geser ( $V_s$ ) dihitung dengan persamaan Sykora dan Stokoe (1983).

$$V_s = 1,7 q_c + 440 \quad (\text{untuk tanah non kohesif})$$

$V_s$  dalam fps dan  $q_c$  dalam  $\text{kg/cm}^2$

Harga *damping* ( $\xi$ ) diambil 5%

Hasil analisis akan memperoleh hasil yang menunjukkan respons tanah berupa percepatan maksimum tanah permukaan (*Peak Ground Acceleration, PGA*), *displacement* dan tegangan regangan tanah pada lokasi yang dipilih.

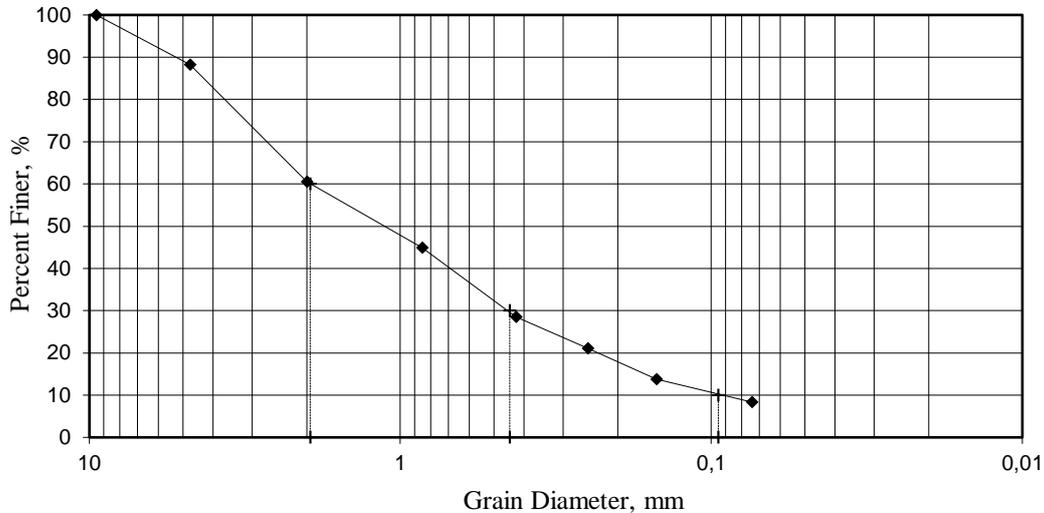
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji penetrasi atau sondir menunjukkan bahwa pada kedalaman rata-rata 4 meter, tanah telah mempunyai nilai hambatan konus  $150 \text{ kg/cm}^2$  dimana uji sondir boleh dihentikan karena tanah dianggap telah mencapai kepadatan yang cukup baik.

Hasil uji berat unit tanah, kuat geser langsung tanah (*direct shear test*) tercantum dalam Tabel 1.

### 3.1. Parameter Dinamika Tanah

Hasil analisis jenis tanah menunjukkan bahwa tanah permukaan di Kawasan Kampus Universitas Muhammadiyah Purwokerto 79,91 % berupa pasir, 11,74 % kerikil dan 8,35 % berupa lanau/lempung (Gambar 1).



Gambar 1 Grafik Distribusi Ukuran Butir

Hasil uji distribusi ukuran butir diatas menunjukkan bahwa 79,91% tanah berupa pasir, 11,74% kerikil (gravel), dan lanau/lempung 8,35%. Dari Gambar 1 diperoleh nilai sebagai berikut.

$$D_{10} = 0,095$$

$$D_{30} = 0,445$$

$$D_{60} = 1,95$$

sehingga dapat dihitung nilai  $C_u$  dan  $C_c$ .

$$C_u = D_{60}/D_{10} = 1,95/0,095 = 20,53$$

$$C_c = (D_{30})^2/(D_{60})(D_{10}) = (0,445)^2/(1,95)(0,095) = 1,07$$

Untuk tanah pasir atau lapisan tanah yang sebagian besar pasir, besarnya Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dihitung berdasarkan persamaan dari Rix dan Stokoe (1991). Kecepatan Rambat Gelombang Geser ( $V_s$ ) dihitung berdasarkan persamaan dari Sykora dan Stokoe (1983). Besarnya  $G_{max}$  dan  $V_s$  pada kedua persamaan dihitung berdasarkan nilai  $q_c$  pada uji sondir.

Tabel 1. Hasil uji dan hitungan Parameter Tanah.

Lapisan ke	Tebal lapisan (m)	Parameter tanah				
		Berat unit tanah, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$q_c$ (kPa)	$\sigma_v$ (kPa)	$G_{max}$ (Mpa)	$V_s$ (fps)
1	2	17,4	$2,943 \cdot 10^{-5}$	$1,24 \cdot 10^{-7}$	$3,09 \cdot 10^{-4}$	491
2	1,5	17,79	$7,357 \cdot 10^{-5}$	$1,32 \cdot 10^{-7}$	$3,98 \cdot 10^{-4}$	567,5
3	0,5	17,59	$1,324 \cdot 10^{-4}$	$1,35 \cdot 10^{-7}$	$4,65 \cdot 10^{-4}$	669,5
4	infinite	18,38	$1,472 \cdot 10^{-4}$	$4,28 \cdot 10^{-7}$	$7,36 \cdot 10^{-4}$	695

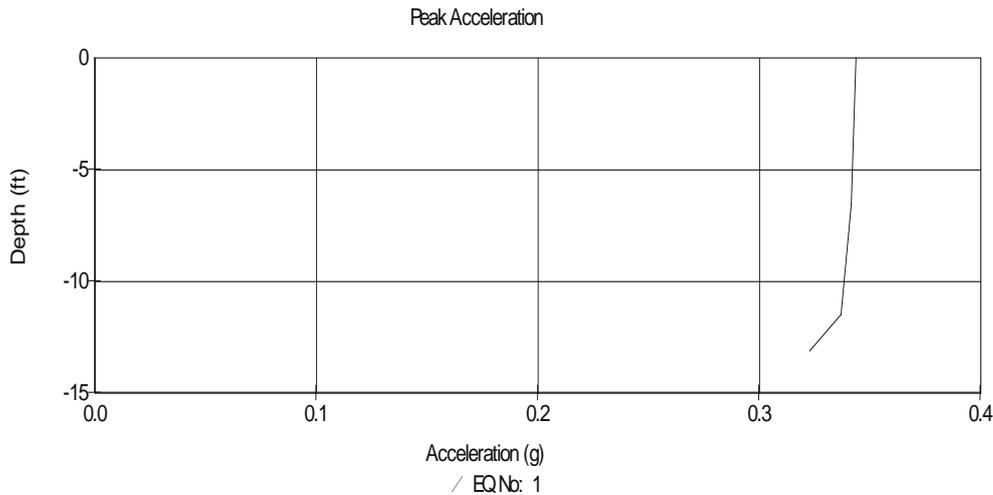
Sumber: hasil analisis, 2023

Parameter-parameter tanah pada Tabel 1 merupakan data-data masukan pada *Input Manager* program komputer *Proshake-EduShake*. Input data dimasukkan berdasarkan setiap lapisan tanah. Data diolah dengan program komputer dan outputnya berupa percepatan, kecepatan, *displacement* tanah dan lain-lain sesuai dengan kebutuhan untuk analisis.

### 3.2. Percepatan Maksimum Tanah

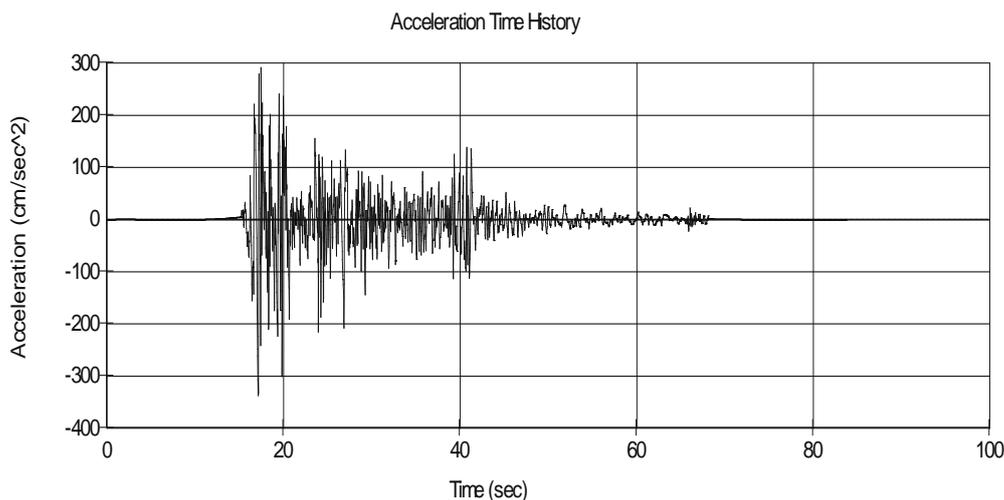
Hasil analisis dinamik secara umum diperoleh hasil bahwa percepatan lapisan tanah pada lokasi penelitian bila mengalami getaran gempa menunjukkan harga yang hampir sama.

Dengan *Input Motion* rekaman gempa El Centro 1940 dengan magnitude 7 SR, didapat percepatan maksimum tanah permukaan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Percepatan maksimum lapisan tanah

Hasil analisis program juga bisa ditampilkan dengan grafik *Acceleration Time History* seperti pada Gambar 3. Grafik ini memperlihatkan besarnya percepatan tanah selama berlangsungnya gempa.



Gambar 3. *Acceleration Time History*

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa percepatan tanah pada lapisan paling bawah lebih kecil dari lapisan-lapisan di atasnya. Percepatan tanah akan semakin besar pada permukaan tanah. Diperoleh harga percepatan tanah maksimum pada permukaan sebesar 0,344 g atau sama dengan 344  $\text{cm/det}^2$ . Dibandingkan dengan besarnya percepatan puncak tanah menurut peta pembagian wilayah gempa Indonesia, maka percepatan tanah permukaan pada lokasi penelitian jauh lebih besar. Menurut peta wilayah pembagian gempa, lokasi penelitian atau umumnya daerah Banyumas, masuk wilayah 3 dengan percepatan puncak 0,15 g atau 150  $\text{cm/det}^2$ .

Tanah lokasi penelitian adalah tanah endapan (*alluvium*) yang bersifat lepas akan menyebabkan terjadinya resonansi dan memberikan respons lebih besar. Respons tanah akan semakin besar bila dalam keadaan basah. Sebaliknya, dalam kondisi kering, tanah endapan yang bersifat lepas seperti pasir akan mengalami pemampatan yang dapat meningkatkan kekakuan tanah (Dowrick, 1978).

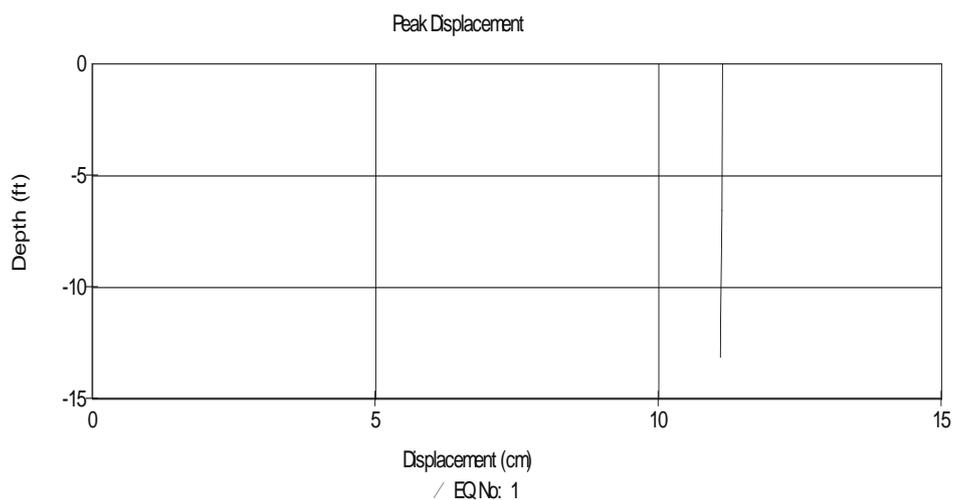
Dapat dipahami apabila percepatan maksimum tanah permukaan di lokasi penelitian sangat besar bila melihat jenis tanah, kedalaman muka air tanah dan beban gempa yang diterapkan dengan magnitudo yang cukup besar.

### 3.3. Displacement Tanah

Displacement tanah adalah perpindahan tanah dalam arah horizontal karena adanya tegangan geser. Analisis displacement lapisan tanah akibat gempa memperlihatkan besarnya gerakan atau perpindahan lapisan-lapisan tanah.

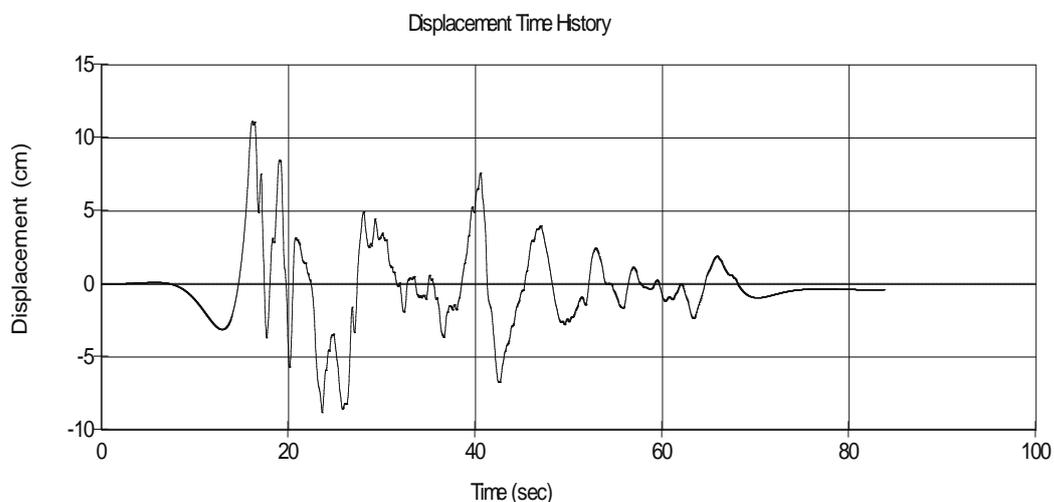
Hasil analisis dengan program *Proshake*, besarnya *displacement* lapisan tanah hampir sama disetiap lapisan seperti pada Gambar 4. Terlihat bahwa besarnya *displacement* dari permukaan tanah sampai kedalaman 9 ft lebih besar dibanding dengan dengan tanah pada kedalaman 9 ft kebawah. *Peak displacement* yang terjadi lebih kurang sebesar 11 cm.

Ditinjau dari jenis tanahnya, lapisan tanah sampai kedalaman 9 ft adalah tanah lanau campur pasir yang padat. Sedangkan dibawahnya, terdapat lapisan cadas yang agak keras. Tanah yang lebih keras dan padat akan mengalami *displacement* yang lebih kecil.



Gambar 4. *Displacement* maksimum lapisan tanah

Hasil analisis program juga bisa ditampilkan dengan grafik *Displacement Time History* seperti pada Gambar 5. Grafik ini memperlihatkan besarnya *displacement* tanah selama berlangsungnya gempa.



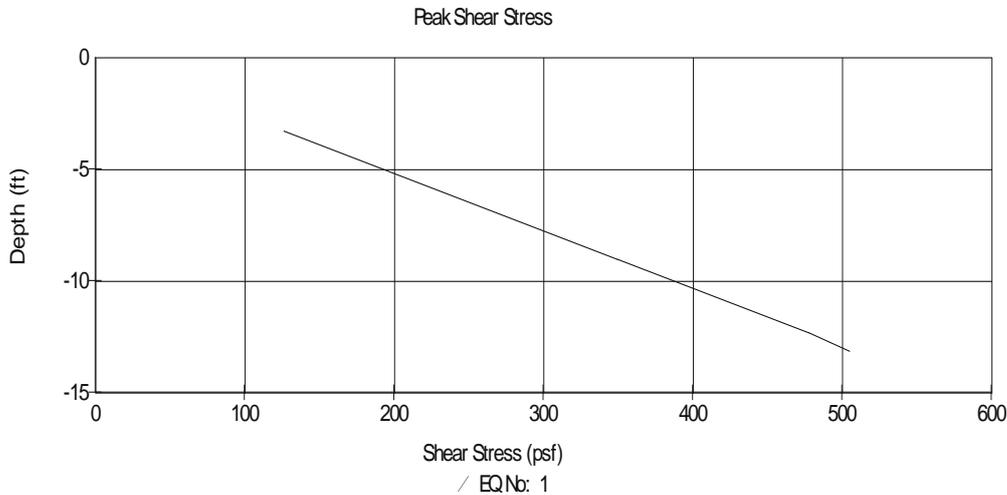
Gambar 5. *Displacement Time History*

*Displacement* tanah permukaan akan terjadi pada saat gempa sudah berlangsung lebih kurang 17 detik, waktu yang sama ketika terjadinya percepatan tanah maksimum (Gambar 3)

### 3.4. Tegangan Regangan

Analisis tegangan regangan pada tanah akibat gempa tinjauannya adalah tegangan regangan geser. Fungsi penting analisis tegangan regangan akibat pembebanan adalah perkiraan besarnya tegangan runtuh tanah.

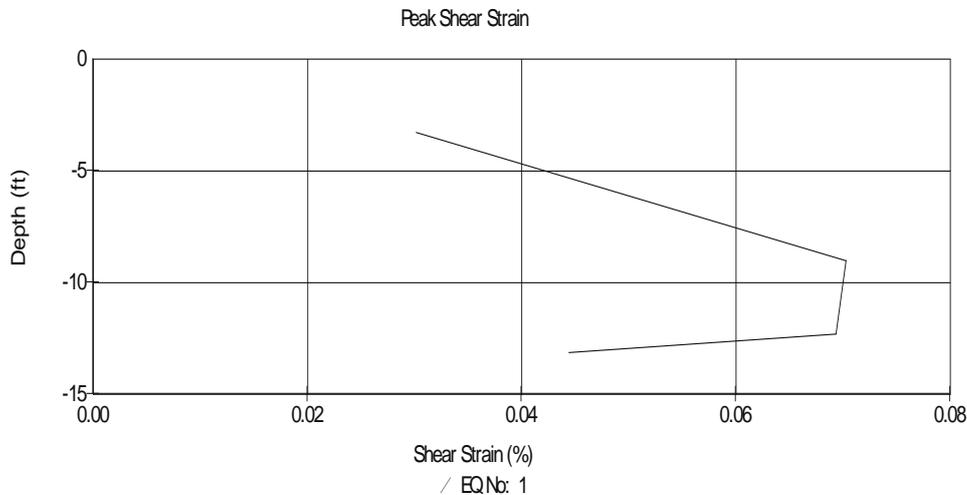
Pada Gambar 6 terlihat pola hubungan tegangan geser dan kedalaman yang memperlihatkan tegangan semakin membesar dengan penambahan kedalaman.



Gambar 6. Tegangan geser maksimum

Regangan geser maksimum akibat gempa pada lapisan tanah diperlihatkan dalam Gambar 7. Sampai kedalaman lebih kurang 9 ft, regangan akan semakin membesar seiring bertambahnya kedalaman tanah. Namun pada kedalaman dibawahnya ada perubahan yang cukup drastis dengan turunnya nilai regangan, khususnya pada kedalaman 9 – 12 ft.

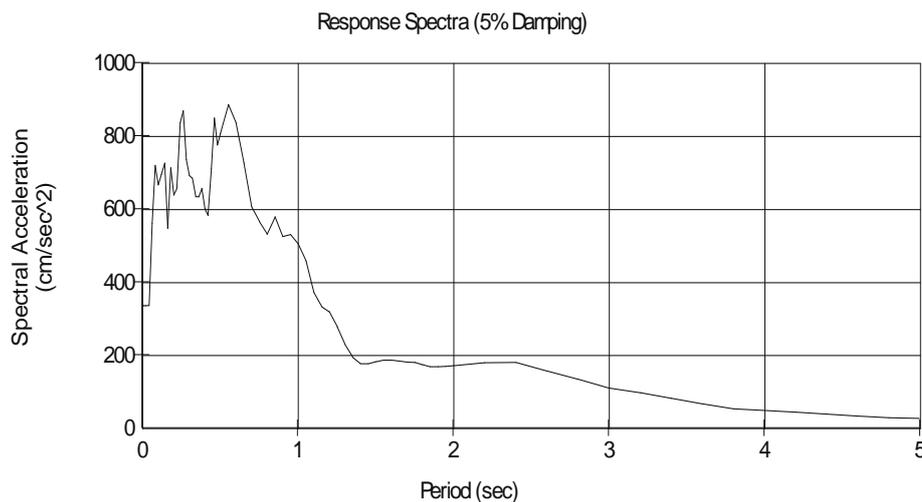
Perilaku lapisan tanah ini dapat dipahamni dengan melihat jenis tanah pada kedalaman tersebut. Pada kedalaman 9 – 12 ft, lapisan tanah mengalami perubahan jenis dan sifat, dari lapisan lanau campur pasir ke lapisan tanah cadas campur pasir. Lapisan tanah yang lebih padat akan mengalami regangan geser yang lebih kecil.



Gambar 7. Regangan geser maksimum

### 3.5. Respon Spektra

Spektra percepatan tanah dengan redaman 5% hasil analisis program diperlihatkan pada 8.



Gambar 8. Respon spektra

Besarnya nilai spektra percepatan tanah di lokasi penelitian hampir mencapai 900 cm/det<sup>2</sup>, lebih besar dari nilai respon spektra gempa rencana di wilayah gempa 3 Indonesia yang besarnya 0,75 g (750 cm/det<sup>2</sup>) untuk tanah lunak.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa lapisan-lapisan tanah permukaan sampai dengan kedalaman sekitar 5 m, pada umumnya menunjukkan bahwa 79,91% tanah berupa pasir bergradasi baik dengan nilai  $C_u > 4$  dan  $C_c > 1$  yang mempunyai sifat-sifat teknis yang baik, cukup keras pada kedalaman yang relatif dangkal.
2. Besarnya percepatan maksimum tanah semakin berkurang pada lapisan tanah yang lebih dalam. Pada permukaan tanah, percepatan maksimum mencapai 0,344 g atau sama dengan 344 cm/det<sup>2</sup>, jauh lebih besar dari percepatan puncak tanah di lokasi penelitian menurut pembagian wilayah gempa Indonesia, yaitu sebesar 0,15 g atau 150 cm/det<sup>2</sup>.
3. *Displacement* maksimum hasil analisis menunjukkan bahwa pada setiap lapisan mengalami *displacement* yang lebih kurang sama, yaitu sebesar 11 cm pada percepatan puncak tanah.

Supaya hasil penelitian jauh lebih baik, perlu dilakukan lagi uji-uji yang lain dengan data-data gempa yang lebih akurat untuk wilayah penelitian. Pada penelitian ini beban gempa yang diterapkan adalah El Centro N-S 1940 yang tentunya kurang atau bahkan tidak tepat untuk diterapkan di wilayah Purwokerto dan Banyumas pada umumnya. Uji tanah di laboratorium dan lapangan perlu diusahakan sampai kedalaman yang cukup besar dan untuk jenis lapisan tanah yang lain.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dowrick, D.J., 1978, *Earthquake Resistant Design*, John Wiley & Sons, New York.
- [2] Elgamal, A., et. al., 2005, Dynamic Response of Saturated Dense Sand in Laminated Centrifuge Container, *Journal of Geotechnical and Environmental Engineering*, May, 598-609
- [3] Kusumawardani, B.N., Lalu A. Didik, dan Bahtiar, 2020. Analisis PGA (Peak Ground Acceleration) Pulau Lombok Menggunakan Metode Pendekatan Empiris, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Volume 16, Nomor 3, Oktober 2020.
- [4] Sarwidi, 2007, *Rekayasa Bangunan Tahan Gempa Berstruktur Beton*, Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, UII, Yogyakarta
- [5] Widodo, 1997, Validasi Parameter Percepatan Tanah dan Efek Frekuensi Gempa Terhadap Respon Struktur Bangunan Bertingkat, *Jurnal Teknisia Vol. II No. 7, 1997*, FTSP, UII, Yogyakarta
- [6] Widodo, 2001, *Respon Dinamik Struktur Elastik*, UII Press, Yogyakarta

