

ANALISIS SEISMIC MENGGUNAKAN PROGRAM SHAKE UNTUK TANAH LUNAK, SEDANG DAN KERAS

Michel S. Pansawira¹, Paulus P. Rahardjo²

Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan

¹tarumanegarabumiyasa@gmail.com, ²rahardjo.paulus@gmail.com

ABSTRACT

Seismic forces that applied to building structures can be obtained by using ground motion analysis and response spectra analysis. Analysis can be done by considering soil movement characteristic and specific dynamic characteristic of soil. SHAKE software can help to faster response spectra analysis and surface acceleration in a location. This paper will show how to use SHAKE software to analyze response spectra and ground movement for soft soil and medium soil obtained from real project data. Stiff Soil analysis will be done using parametric study. The analysis output is shown in the form response analysis graphs and earthquake acceleration magnitude at the surface.

Keywords: SSRA, Bedrock

ABSTRAK

Untuk memperkirakan gaya gempa yang bekerja pada struktur konstruksi dapat dilakukan dengan analisis ground motion dan respons spektra. Analisis tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik pergerakan tanah dan sifat spesifik dinamik tanah. Program SHAKE dapat membantu mempercepat analisis respons spektra dan percepatan permukaan sebuah lokasi. Dalam makalah ini akan ditunjukkan penggunaan program SHAKE untuk menganalisis respons spektra dan percepatan permukaan untuk kondisi tanah lunak dan sedang yang diambil dari data proyek yang sesungguhnya. Analisis terhadap tanah keras juga dilakukan tetapi tidak menggunakan data proyek yang sesungguhnya. Hasil dari analisis ditunjukkan dalam bentuk grafik response analysis dan besaran percepatan gempa di permukaan.

Kata kunci: SSRA, Bedrock

PENDAHULUAN

Kriteria desain gempa pada struktur biasanya ditampilkan dalam bentuk *peak ground acceleration (PGA)* dan *response spectra* yang diturunkan dari *ground motion time history*. *PGA* dan *response spectra* pada tanah permukaan adalah dasar untuk analisis beban gempa dan desain berbagai struktur seperti gedung tinggi, dinding penahan tanah, stabilitas lereng, struktur bawah tanah, dan kemungkinan likuifaksi.

Penelitian ini dilakukan untuk melakukan studi *response spectra analysis* untuk proyek gedung di Jakarta dengan variasi kedalaman *bedrock*.

Penelitian ini meliputi studi terhadap literatur yang sudah ada mengenai *Site Specific Response Analysis*. Selanjutnya dilakukan pemodelan tanah dan parameternya untuk menghasilkan

response spectra dengan menggunakan program *SHAKE 2000*.

Lokasi proyek yang menjadi referensi analisis respon seismik ini adalah di Ancol di Ancol dan di sekitar Jl. Iskandarsyah Jakarta Indonesia.

METODE PENELITIAN

Berdasarkan SNI 03 – 1726 – 2012 ada 3 metode untuk penentuan jenis tanah yaitu melalui *shear wave test*, SPT dan Sondir. Berdasarkan metode – metode tersebut dapat ditentukan kategori jenis tanah untuk lokasi tersebut dengan kemungkinan berupa tanah lunak, medium atau keras.

Tabel 1. Jenis-Jenis Tanah [1]

Jenis Tanah	Kecepatan rambat gelombang shear rata-rata, \bar{V}_s (m/det)	Nilai Hasil Test Penetrasi Standar rata-rata N	Kuat Geser Tak teralir rata-rata S_u (kpa)
Tanah Keras	$\bar{V}_s \geq 350$	$N \geq 50$	$S_u \geq 100$
Tanah Sedang	$175 \leq \bar{V}_s < 350$	$15 \leq N < 50$	$50 \leq S_u < 100$
Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$N < 15$	$S_u < 50$
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus setiap lokasi		

Respon spektra sering digunakan untuk mewakili pembebanan seismik untuk analisis dinamik struktur. Hasilnya desain *ground motion* seringkali diistilahkan dengan desain spektra.

Ground motion biasanya didesain dengan dua cara yaitu *site specific analysis* berdasarkan ketentuan standar dan peraturan gedung.

Respon spektra adalah metode yang berguna pada rekayasa gempa untuk menganalisis performa struktur dan perlengkapannya dalam keadaan gempa. Secara umum *seismic hazard analysis* dibagi atas dua yaitu: *Deterministic Seismic Hazard Analysis* dan *Probabilistic Seismic Hazard Analysis*.

Deterministic Seismic Hazard Analysis digunakan untuk mengevaluasi besaran parameter *ground motions* (biasanya *peak ground acceleration* dan *acceleration respon spectra*) pada lokasi tertentu dari semua sumber gempa yang memiliki potensi untuk menghasilkan gempa yang kuat di sebuah lokasi.

Deterministic Seismic Hazard Analysis ini meliputi 4 tahapan dasar:

1. Identifikasi sumber-sumber gempa.
2. Penentuan gempa yang berperan untuk seetiap sumber gempa.
3. Pemilihan persamaan *ground motion*.
4. Perhitungan parameter desain *ground motion*.

Probabilistic Seismic Hazard Analysis digunakan untuk mengukur angka probabilitas dari berbagai *level ground motions* yang terlampaui pada suatu lokasi (atau pada peta dari lokasi) semua gempa yang mungkin terjadi.

Untuk *Site Spesific Response Analysis* sebuah gedung ditentukan *level seismic design* menggunakan *Probabilistic Seismic Hazard Analysis*.

Penentuan *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* dilakukan dengan langkah – langkah dasar sebagai berikut:

1. Identifikasi semua sumber gempa yang mungkin berpengaruh di lokasi.
2. Penentuan semua gempa yang mungkin terjadi untuk setiap sumber gempa (Magnitude, M, Jarak, R).
3. Pemilihan persamaan *ground motion* dan pertimbangan dari semua level probabilitas yang mungkin terjadi (Median \pm rentang dari σ).
4. Perhitungan parameter desain *ground motion* untuk semua M, R, dan Median \pm rentang dari σ , dan
5. Perhitungan angka untuk setiap skenario *ground motions* yang terjadi; peringkat dari urutan pengurangan dari kerasnya goncangan; penambahan angka, dan pemilihan angka dimana *ground motion* adalah sama atau lebih besar dari level tertentu.
6. *Deaggregate* untuk memperoleh scenario yang dipilih.

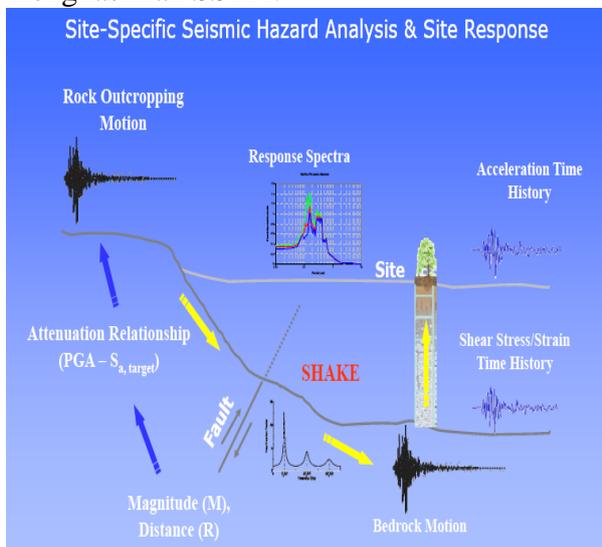
Berikut ini adalah tahapan yang harus dilakukan untuk pembuatan SSRA (*Site Spesific Response Analysis*) [2]:

1. Tentukan kondisi lapisan bawah tanah (*subsurface*) di lokasi.
2. Tentukan struktur yang signifikan dan potensi sumber gempa dilokasi berpengaruh di lokasi tersebut.
3. Tentukan percepatan batuan di lokasi terhadap sumber gempa yang berbeda.
4. Bentuk sebuah target spektrum untuk setiap sumber gempa yang dipakai
5. Pilih *time history ground motion* yang mewakili lingkungan tektonik yang

mirip dan diperkirakan akan cocok dengan target *response spectrum*.

- Lakukan seismic site-response analysis (contohnya: evaluasi pengaruh kondisi setempat terhadap seismic ground motions).

Program SHAKE dapat digunakan untuk menghasilkan SSRA.



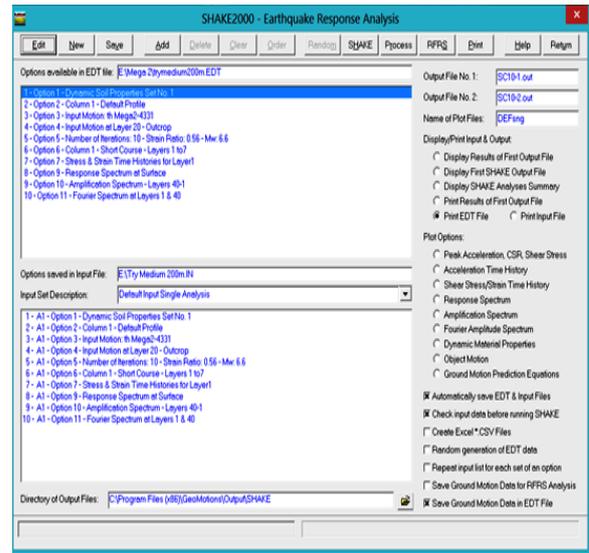
Gambar 1. Tahapan Pemodelan SSRA [2]

Tabulasi untuk input dan analisis pada program SHAKE dapat dilihat pada tabel di bawah.

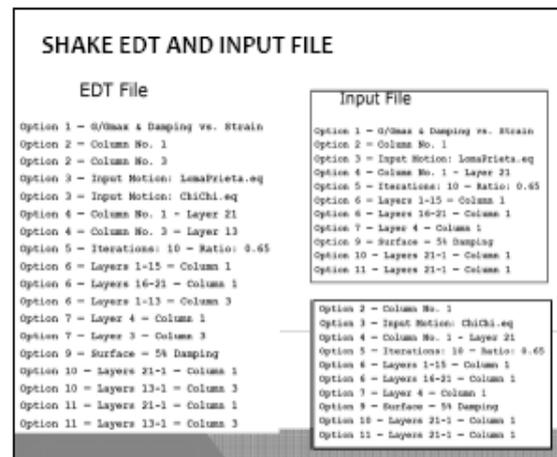
Tabel 2. Input dan output program SHAKE

Option	Input	Analysis	Description
1	x		Dynamic Soil Properties
2	x		Soil Profile
3	x		Input Motion
4	x		Assignment Object Motion
5	x		No. Iteration & Strain Ratio
6		x	PGA and Time Histories
7		x	Stress and Strain TH
9		x	Response Spectra
10		x	Amplification Spectra
11		x	Fourier Spectra

Urutan pemasukan data pada program SHAKE dapat dilihat pada *option* 1-11 pada tampilan program di bawah ini.

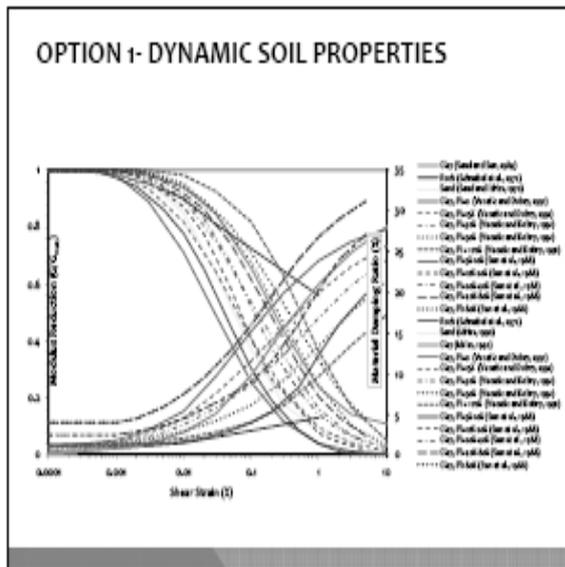


Gambar 2. Option 1-11 pada program SHAKE



Gambar 3. Penjelasan masing – masing *option* pada program SHAKE 2000

Pada *option* 1 dimasukkan data parameter dinamis tanah yang akan dipakai pada pemodelan program SHAKE.



Gambar 4. Penjelasan input parameter dinamis Tanah pada Option 1

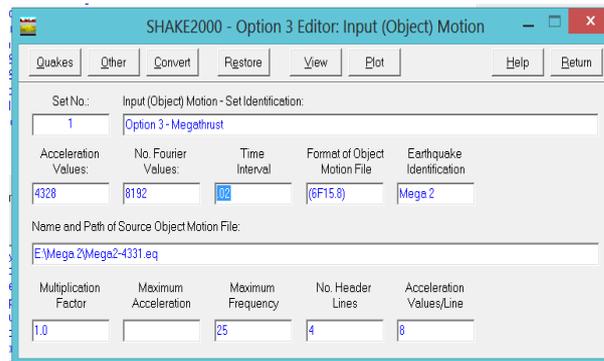
Pada option 1 data yang dimasukkan adalah parameter material dinamis yang meliputi jumlah material, jumlah nilai regangan yang akan dibaca.

Pada option 2 dimasukkan data tanah seperti tipe tanah, kepadatan tanah dan nilai Vs atau nilai NSPT dari tanah.

OPTION 2- SOIL PROFILE						
NO.	TYPE	THICKNESS (FT)	DEPTH (FT)	DAMPING	UNIT WT. (KCF)	SHEAR VEL (FPS)
1	1	0.8420	4.9210	0.050	0.102	374.0
2	1	0.8420	14.7630	0.050	0.102	374.0
3	1	2.2800	21.3240	0.050	0.102	374.0
4	1	6.5030	26.2445	0.050	0.102	374.0
5	1	6.5030	32.8955	0.050	0.102	374.0
6	1	6.5030	39.3665	0.050	0.102	784.1
7	1	6.5030	45.9275	0.050	0.102	725.0
8	1	6.5030	52.4885	0.050	0.102	692.2
107	1	0.8420	1573.0745	0.050	0.121	2431.2
108	1	0.8420	1582.9165	0.050	0.121	2431.1
109	1	0.8420	1592.7585	0.050	0.121	2440.9
170	1	0.8420	1602.6005	0.050	0.121	2450.8
171	1	0.8420	1612.4425	0.050	0.121	2460.6
172	1	0.8420	1622.2847	0.050	0.121	2470.4
173	1	15.1230	1635.7972	0.050	0.121	2480.3
174	BASE			0.020	0.140	2495.4

Gambar 5. Penjelasan Input pada Option 2

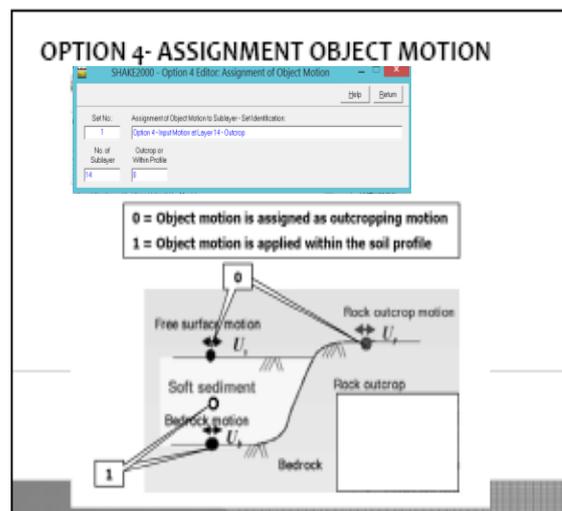
Pada option 3 diinputkan time history yang digunakan pada program SHAKE ini.



Gambar 6. Penjelasan Input pada Option 3

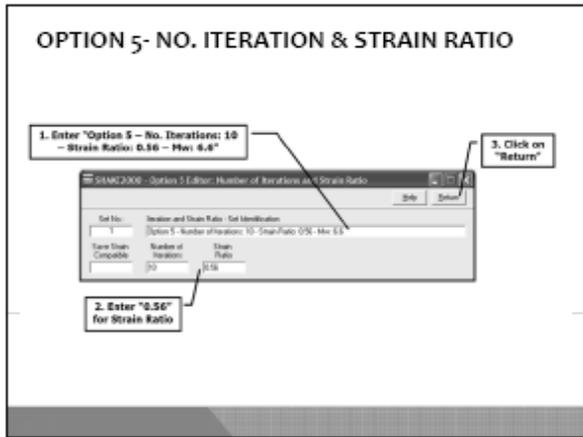
Adapun *time history* yang digunakan adalah **Benioff scaling** 2 detik, **Benioff scaling** 10 detik, **Megathrust scaling** 2 detik, **Megathrust scaling** 10 detik, **Shallow Crustal scaling** 2 detik dan **Shallow Crustal scaling** 10 detik.

Pada option 4 dimasukkan data *object motion* pada program SHAKE. Data yang dimasukkan antara lain jumlah *sublayer* pada bagian atas tempat *object motion* diaplikasikan. *Input* nilai 0 digunakan jika *object motion* diaplikasikan sebagai *outcropping motion* sedangkan nilai 1 jika *object motion* diaplikasikan didalam pelapisan tanah yang ada.



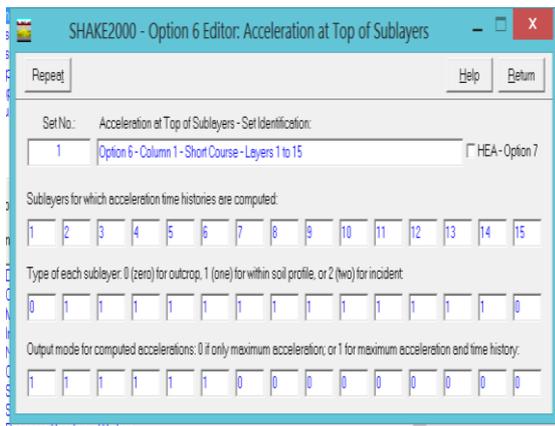
Gambar 7. Penjelasan Input pada Option 4

Pada option 5 dimasukkan data jumlah iterasi dan strain ratio. Untuk iterasi biasanya dibutuhkan 3-5 iterasi untuk memperoleh *error* kurang dari 5-10%. Nilai *ratio strain* yang digunakan biasanya antara 0.5 – 0.7.



Gambar 8. Penjelasan Input pada Option 5

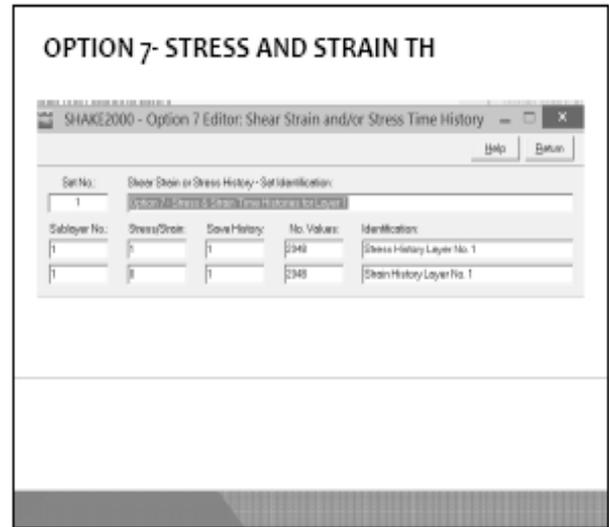
Pada option 6 dimasukkan data *PGA* dan *Time Histories*. Pada baris ke dua pada opsi ini dimasukkan lapisan tanah dimana percepatan *time history* dihitung. Selanjutnya pada baris ke 3 tipe setiap *sublayer* dimasukkan di sini nilai 0 digunakan untuk *outcrop* dan 1 jika percepatan di dalam *soil profile*. Pada baris ke 4 digunakan nilai 0 jika yang diinginkan hanya percepatan maksimum untuk disimpan dan digunakan nilai 1 jika diinginkan percepatan maksimum dan percepatan *time history* untuk disimpan.



Gambar 9. Penjelasan Input pada Option 6

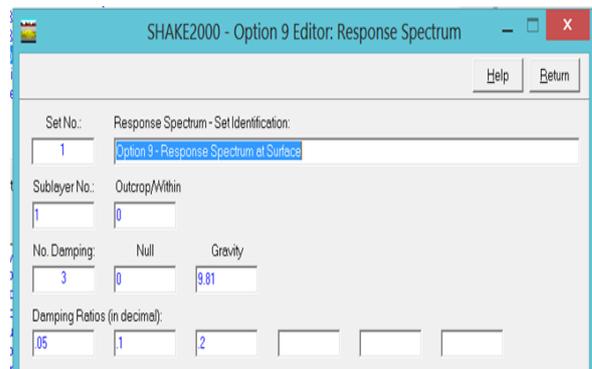
Pada option 7 dimasukkan data untuk *Stress* dan *Strain Time History*. Pada kolom *sublayer*, maximum 2 lapis tanah (*sub layer*) yang dapat dimasukkan di sini. Opsi ini dapat diulang jika lapis tanah yang akan ditinjau ingin ditambah. Pada kolom *Stress/Strain* nilai 0 digunakan untuk *strain* sedangkan nilai 1 digunakan untuk *stress*.

Pada kolom *Save History* gunakan nilai 1 untuk menyimpan *time history* dari *strain* atau *stress*.



Gambar 10. Penjelasan Input pada Option 7

Pada option 9 dimasukkan data untuk *Response Spectra*. Pada baris ke dua opsi ini dimasukkan nomor lapisan tanah (*sub layer*). Input nilai 0 digunakan untuk *outcropping* atau 1 jika di dalam lapisan tanah (*within sublayer*). Pada baris 3 dan 4 dimasukkan jumlah dan nilai *damping* yang akan digunakan.



Gambar 11. Penjelasan Input pada Option 9

Kondisi geoteknik atau stratigrafi tanah kota Jakarta yang bervariasi mengakibatkan adanya distribusi getaran gempa yang berbeda-beda secara spasial di kota Jakarta.

Adanya amplifikasi getaran gempa dari batuan dasar Jakarta ke permukaan tanah. Kedalaman batuan dasar kota

Jakarta kira-kira bervariasi pada kedalaman 50 – 300 m dari muka tanah. Daerah Jakarta Utara - Pusat umumnya tergolong klasifikasi tanah lunak – sedang. Daerah – daerah lain mulai dari Jakarta Pusat ke Selatan umumnya tergolong klasifikasi sedang. Kondisi ini mengakibatkan getaran gempa di daerah Jakarta Utara relatif lebih besar dibandingkan Jakarta Selatan [3].

Potensi Sumber Gempa yang mungkin berpengaruh ke DKI Jakarta:

1. Sumber dekat dari patahan – patahan sekitar Jakarta.
2. Sumber jauh dari subduksi Selatan Jawa.

Berdasarkan data geologi dan geofisika, wilayah Indonesia dapat dibagi menjadi 5 elemen *Crustal* sebagai berikut:

1. *Sunda Shield* (SE Eurasian Craton)/ Lempeng Sunda di bagian barat laut.
2. Pelat Tektonik di Lautan India di bagian barat daya.
3. Lempeng Australia di bagian Tenggara.
4. Pelat pasifik di bagian Timur Laut, dan
5. Transitional Complex zone (daerah transisi kompleks) di wilayah tengah Indonesia.

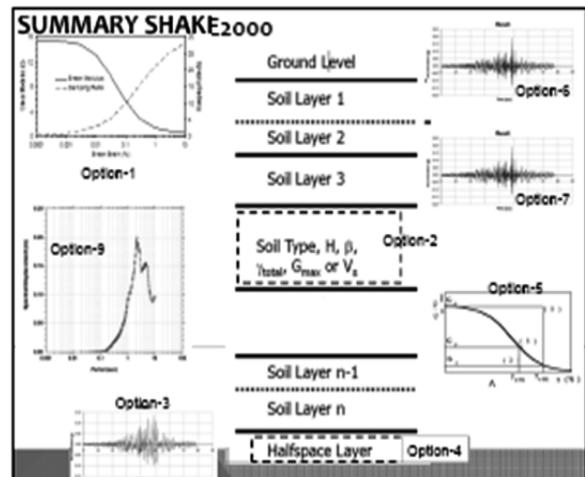
Metode analisis *time histories* dilakukan dengan memilih *motion* yang mewakili kondisi kegempaan di Indonesia, seperti: *megathrust*, *benioff* (*deep background*), dan *shallow crustal*/sesar aktif.

Megathrust mewakili patahan dengan sudut normal kecil yang terjadi pada subduksi pelat oceanic pada kedalaman kurang dari 70 km.

Benioff terjadi pada sudut yang lebih besar dengan kedalaman lebih dari 70 km.

Shallow Crustal merupakan gempa dangkal yang disebabkan oleh pergerakan sesar aktif.

Berikut ini adalah ringkasan dari *option* yang ada pada program SHAKE 2000 untuk menghasilkan *response spectra*.

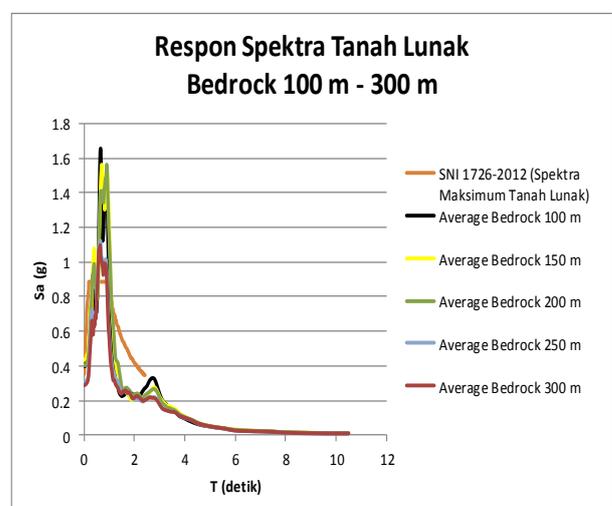


Gambar 12. Penjelasan option yang dimasukkan untuk pembuatan respon spektra.

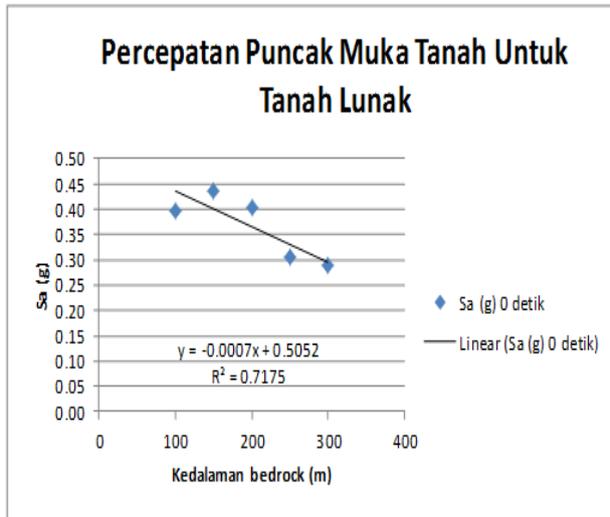
Untuk menghasilkan respon spektra pada program SHAKE dimasukkan *option* 1-7 dan *option* 9.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk respon spektra tanah lunak ini digunakan data tanah dari proyek di Ancol Jakarta Utara dengan kedalaman *bedrock* dibuat bervariasi 100 m – 300 m. Hasil dari bor SPT didapatkan nilai N_{60} rata-rata = 10.7 (Tanah Lunak) dan hasil tes seismik didapatkan $V_s = 215.8$ m/s (Tanah Medium).



Gambar 13. Respon Spektra Tanah Lunak untuk berbagai kedalaman *bedrock*

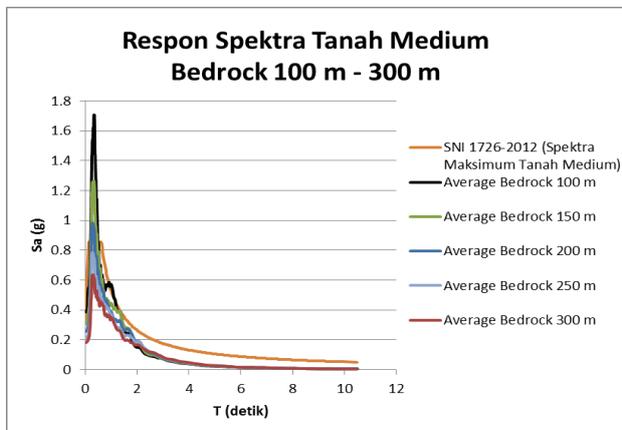


Gambar 14. Percepatan Muka Tanah Lunak untuk berbagai kedalaman *bedrock*.

Tabel 3. Percepatan muka tanah lunak

Kedalaman <i>Bedrock</i> (m)	Sa (g) 0 detik
100	0.398
150	0.436
200	0.403
250	0.305
300	0.289

Untuk respon spektra tanah medium ini digunakan data tanah dari proyek di Jl. Iskandarsyah, Blok M Jakarta Selatan dengan kedalaman *bedrock* dibuat bervariasi 100 m – 300 m. Hasil bor SPT didapatkan nilai N_{60} rata-rata = 12.6 (Tanah Lunak) dan hasil tes seismik didapatkan $V_s = 246$ m/s (Tanah Medium).



Gambar 15. Respons Spektra Tanah Medium untuk berbagai kedalaman *bedrock*

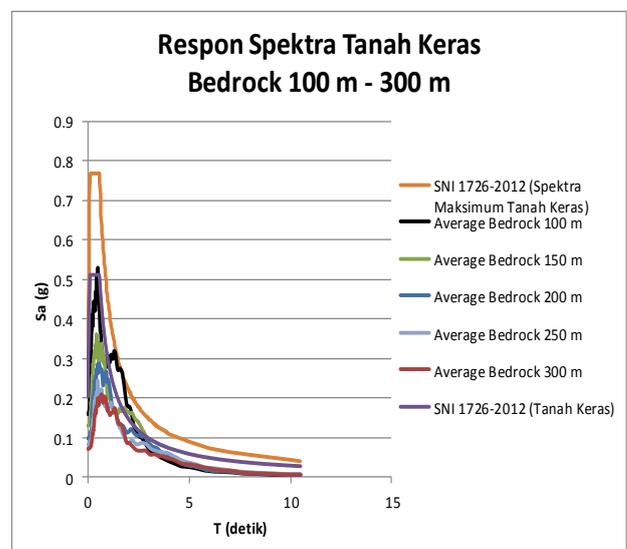


Gambar 16. Percepatan Muka Tanah Medium untuk berbagai kedalaman *bedrock*.

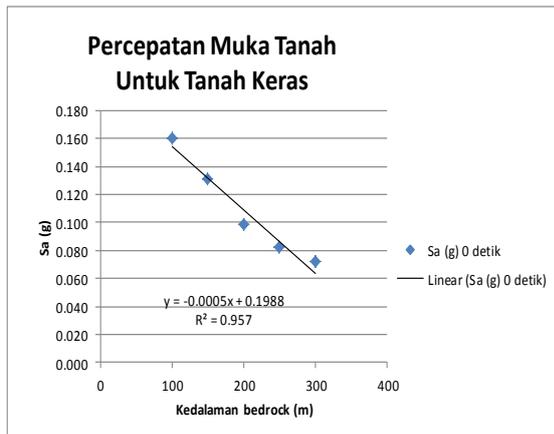
Tabel 4. Percepatan muka tanah medium

Kedalaman <i>Bedrock</i> (m)	Sa (g) 0 detik
100	0.389
150	0.309
200	0.258
250	0.213
300	0.183

Untuk respon spektra tanah keras ini digunakan data tanah hasil rekayasa, dikarenakan sulitnya mendapatkan data hasil bor SPT dan tes Seismik dengan kategori tanah keras. Semua nilai V_s yang dimasukkan dalam program SHAKE lebih besar dari 350 m/s.



Gambar 17. Respons Spektra Tanah Keras untuk berbagai kedalaman *bedrock*



Gambar 18. Percepatan Muka Tanah Keras untuk berbagai kedalaman *bedrock*.

Tabel 5. Percepatan muka tanah keras

Kedalaman Bedrock (m)	Sa (g) 0 detik
100	0.160
150	0.131
200	0.099
250	0.082
300	0.072

KESIMPULAN:

1. Semakin dalam kedalaman bedrock program SHAKE memperlihatkan nilai yang kecil percepatan gempa yang dihasilkan.
2. Pada tanah lunak percepatan permukaan Sa (g) berada dalam rentang 0.289-0.436 g.
3. Pada tanah medium percepatan permukaan berada dalam rentang 0.183-0.389 g
4. Pada tanah keras percepatan permukaan berada dalam rentang 0.072 -0.160 g
5. Nilai percepatan permukaan untuk tanah lunak dan sedang hampir tidak jauh berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726-2012, Tata cara perencanaan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.
- [2] Ordonez Gustavo, SHAKE 2000 User's Manual.

[3] Dinas P2B Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. Penyuluhan Kepada Anggota Asosiasi Profesi Tentang Bangunan Tahan Gempa di Provinsi DKI Jakarta.