

**PERHITUNGAN PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DI UJUNG LEMAHABANG  
PADA BOR D-28 (300 METER) MENGGUNAKAN PROGRAM SHAKE**

Hadi Suntoko<sup>1)</sup>

**ABSTRAK**

PERHITUNGAN PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DI UJUNG LEMAHABANG PADA BOR D-28 (300 METER) MENGGUNAKAN PROGRAM SHAKE. Lokasi yang diusulkan oleh Konsultan untuk pondasi reaktor Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) terletak tepat di atas lubang bor D28 yang mempunyai kedalaman 300 meter. Bor dalam tersebut diperlukan untuk mengetahui perilaku tanah/batuan secara detil, baik secara statik maupun dinamik. Tujuan perhitungan percepatan tanah maksimum ini secara umum adalah untuk mengetahui sifat dinamik permukaan yang akan berpengaruh terhadap pondasi. Cara yang dilakukan dalam perhitungan ini, menggunakan program Shake dengan memasukan parameter-parameter tanah/batuan, antara lain kedalaman pelapisan, densiti, kecepatan geser tanah, damping dan input gempa lokal maka akan diperoleh nilai percepatan tanah maksimum (*maximum acceleration*). Untuk parameter input gempa menggunakan gempa daerah lain yang mempunyai kesamaan skala seperti gempa Kobe (M=7.2 skala Richter) karena gempa tersebut sulit diperoleh di daerah penelitian. Hasil running dari penelitian ini sangat dipengaruhi oleh input damping, kedalaman pelapisan, dan input gempa itu sendiri. Sehingga perilaku pondasi untuk struktur bangunan besar yang diperhitungkan adanya gempa, tergantung dari desain awal nilai dinamik tanah seperti halnya percepatan tanah maksimum permukaan.

**ABSTRACT**

THE CALCULATION OF MAXIMUM ACCELERATION AT THE UJUNG LEMAHABANG SITE FOR D-28 (300 METER) USED SHAKE PROGRAM. Proposed site from Consultant to use for a foundation of Nuclear Power Plants lies at the bore hole D28, it has 300 meters depths. The bore hole have done to the soil/stone characteristic including of static and dynamic analysis. Generally the purpose of maximum acceleration for identification a dynamic surfacethat will affect of a founddation. Methodology is used the shake programe with including of the soil/stone parameters, namely depth, density, shear wave velocity, damping, earthquake so it will gate of the maximum acceleration. Input motion earthquake used a other site that it has same scale likes the Kobe Earthquake (M = 7.2 Richter) as earthqqquake very difficult in the ULA site. The results of the running from Shake program very affect of a damping, depths of the layers, and input motion earthquake self. So that a foundation characteristic for big stucture will calculate of the earthquake, depending from fisrt desain of a dynamic value like this maximum acceleration.

---

<sup>1)</sup> Staf Bidang Penerapan Sistem Energi - P2EN

## I. PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Persiapan pondasi pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) di Muria telah dilakukan uji laboratorium dan uji lapangan guna mendapatkan karakteristik tanah/batuan. Dari uji tersebut telah diperoleh analisis statik dan sebagian analisis dinamik. Untuk melengkapi beberapa analisis penulis mencoba menghitung nilai percepatan tanah maksimum yang merupakan hasil training dari *Chuo University-Tokyo* Jepang. Sifat dinamik tanah banyak dipelajari ketika sebuah tapak akan didirikan struktur bangunan yang permanen. Dengan mengenali nilai percepatan tanah maksimum maka pertimbangan pondasi yang berhubungan dengan model, tipe dan jumlah finansial yang akan dikeluarkan dapat diperhitungkan. Untuk mendapatkan nilai percepatan tanah maksimum diperlukan berbagai data dukung antara lain data seismik, geologi/geoteknik, dan geofisik. Data seismik/gempa memberikan informasi penting mengenai getaran tanah oleh akibat tektonik atau vulkanik, sehingga perilaku gempa dapat dipelajari dengan mengenali akibat-akibatnya yang memperlihatkan perubahan-perubahan di permukaan. Ketidakstabilan pondasi seperti amblesan (*settlement*), pembuburan (*liquefaction*), dan deformasi adalah salah satu contoh adanya perubahan-perubahan akibat gempa. Sedangkan data dukung geologi/geoteknik memberikan informasi kondisi permukaan dari penyebaran patahan dan lipatan yang kemudian dilanjutkan dengan pembuktian data geofisik sebagai bukti bahwa bawah permukaan terjadi perubahan.

Percepatan tanah maksimum merupakan gambaran nilai dari getaran tanah paling besar di permukaan ketika terjadi gempa lokal yang dipengaruhi oleh densiti tanah, kondisi pelapisan (kedalaman/kekerasan) serta kecepatan gelombang geser. Nilai ini banyak dimanfaatkan oleh kalangan masyarakat sipil dalam merekayasa pondasi bangunan, bagaimana pondasi itu aman dan yakin tidak membawa petaka baik orang lain ataupun diri sendiri. Sebagian negara yang memiliki data gempa tinggi seperti Jepang, rata-rata menggunakan pondasi yang tahan gempa. Desain ini dapat dipelajari dengan mengetahui nilai percepatan tanah maksimum secara kusus dan kondisi pelapisan secara umum. Pelapisan yang berada dibawah pondasi menjadi hal penting ketika konstruksi bangunan didirikan. Kekakuan bangunan lebih menentukan besar kecilnya kerusakan yang timbul, karena bangunan semakin kaku, maka kurang efektif untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan. Hal ini perlu mengetahui struktur, dalam kondisi elastis pada taraf gempa tertentu sehingga dapat menjadi alternatif yang baik untuk diterapkan pada bangunan gedung yang dianggap penting. Oleh karena itu analisis perhitungan struktur dengan beban gempa yang

dilakukan secara elastis, dengan mengetahui nilai percepatan tanah maksimum dapat dipakai untuk menaksir perpindahan.

## 1.2 Waktu Penelitian

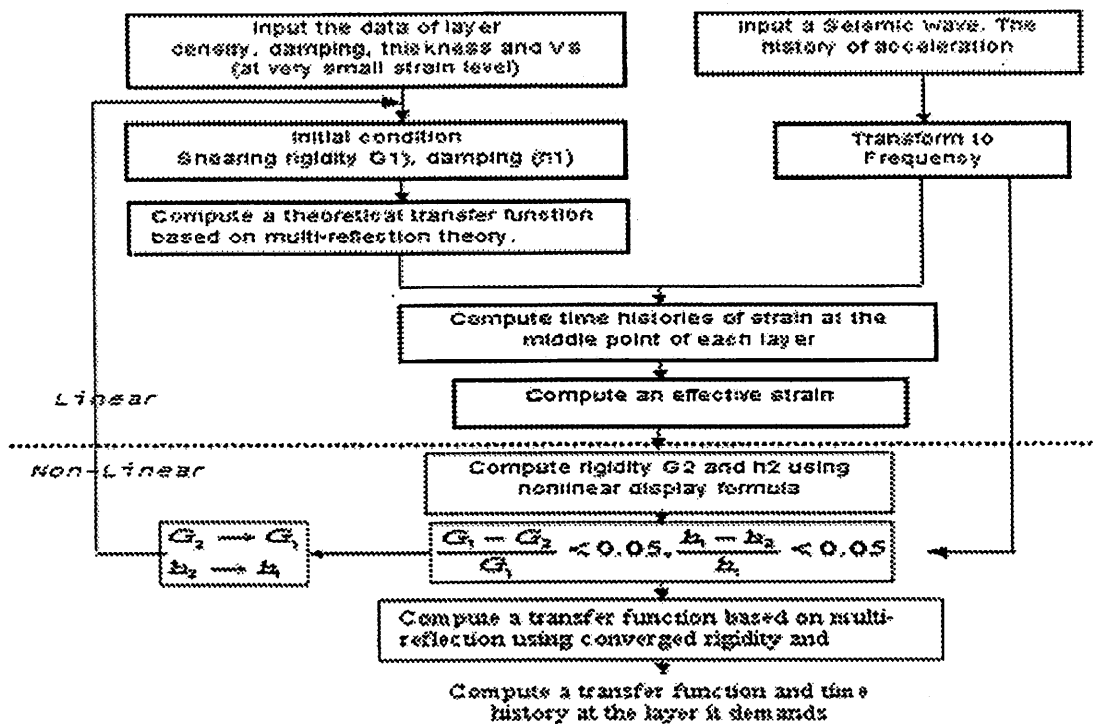
Waktu penelitian dimulai saat training di *Chuo University*, Jepang selama tiga bulan dan setelah selesai dilanjutkan dengan menghitung nilai percepatan tanah dengan input data secara maksimum. Perhitungan nilai dengan input data laboratorium memerlukan waktu satu bulan ditambah dengan analisis.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah menghitung nilai percepatan tanah maksimum pada bor paling dekat dengan lokasi usulan guna mengetahui sifat dinamik terutama di daerah permukaan yang akan berpengaruh terhadap kondisi pondasi.

## II METODOLOGI

Metoda yang dilakukan menggunakan perangkat lunak (*software*) *Shake Program* dan Fortran sebagai kompilnya. Data input yang diperlukan adalah uji laboratorium maupun uji lapangan (*insitu*), seperti; densiti pelapisan, ketebalan pelapisan, kecepatan gelombang geser, damping dan input gempa lokal. Ada beberapa model dalam perhitungan nilai percepatan tanah, antara lain pendekatan model Elastic, model Hardin-Demevich, dan modifikasi model Kokusho. Dari model-model tersebut perbedaannya terletak pada input data saja, tentunya dengan banyak input data yang diperoleh akan mempunyai perbedaan, hal ini tergantung dari tipe lapisan yang ada. Di daerah Ujung Lemahabang (ULA) memiliki tanah yang sedikit lunak dengan tipe pelapisan heterogen maka model yang digunakan adalah model Elastik. Dalam perhitungan model Elastik dipilih tipe linier, hal ini sesuai dengan hasil uji laboratorium pada lubang bor D28 kedalaman 300 meter. Model analisis diambil dua variasi, pertama nilai damping didasarkan pada asumsi karena data damping dalam uji laboratorium tidak ada dan asumsi nilai yang diambil adalah 1%, 5% dan 10% berdasarkan dari nilai umum dari kondisi gedung yang ada di Jepang. Model kedua diambil dari modifikasi Maxwell yang mempergunakan *non-viscus/viscus* sebagai input data, didasarkan pada variasi nilai frekuensi. Dalam perhitungan tersebut menggunakan rumus  $D = D_0 f^\alpha$  dimana D= damping ,  $D_0$ =damping awal ,  $f$ = frekuensi dan  $\alpha$ = konstanta frekuensi yang diambil dari 0.5, 0.75 dan 1.0. Dibawah ini adalah bagan alir perhitungan percepatan tanah maksimum, dimana penulis menggunakan model linier.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Perhitungan Percepatan Tanah Maksimum

Input data didapat dari hasil uji tes tanah/batuan pada lubang bor D28 yang memiliki kedalaman 300 meter di bawah permukaan. Data yang diperlukan antara lain kedalaman atau ketebalan pelapisan, densiti tanah, kecepatan gelombang geser lapisan, dan damping. Rekaman gempa besar diperlukan didalam perhitungan, namun karena didaerah telitian tidak ada gempa besar sehingga menggunakan sumber data lain yaitu gempa Kobe 1975 dengan Magnitudo 7.2 skala Richter. Pada saat input data dimasukan ke program maka akan menghitung *transfer function* dengan merefleksikan ke berbagai arah pelapisan yang ada, dan selanjutnya dengan dikombinasikan gelombang gempa terjadi perhitungan frekuensi. Untuk menghasilkan analisis yang baik tentunya diperlukan input data yang baik pula, artinya bahwa input parameter yang tersedia merupakan data yang akurat sesuai hasil uji/tes melalui prosedur yang benar dan teliti.

Di bawah ini model input parameter data terdiri dari jumlah lapisan, ketebalan lapisan, kecepatan gelombang geser, dan densiti yang diatur dengan spasi begitu juga bagian bawah yang terdiri dari strain dan damping.

1 S			
1	S.	400.	1.59
2	S.	600.	1.63
3	13.	870.	1.59
4	S.	770.	1.74
5	22.	800.	2.28
6	23.	500.	1.74
7	31.	810.	1.66
8	40.	400.	2.88
9	18.	550.	2.94
10	105.	600.	2.88
11	20.	500.	2.46
12	15.	650.	2.66
13	30.	700.	2.94
14	35.	400.	2.46
15	25.	500.	2.26
1	1		
2.41E-04	1S.		
3	1		
3.45E-03	1S.		
3	1		
3.35E-03	1S.		
4	1		

Tabel 1. Contoh Input Data yang harus disediakan

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan input data yang ada, secara keseluruhan hasil analisis dari program Shake meliputi percepatan tanah maksimum (*maximum acceleration*), modulus geser (*shear modulus*), percepatan sejarah waktu (*acceleration time history*), *transfer function*, dan frekuensi alam (*natural frequency*). Dari hasil tersebut penulis akan menganalisis pada nilai percepatan tanah maksimum yang didasarkan dari gempa daerah lain. Secara umum gempa memberikan respons terbesar pada T (waktu getar alami) antara 0,2 sampai 0,6 detik, namun ada juga gempa yang memberikan respons terbesar pada T mendekati 2 detik. Tentu saja untuk mendapatkan gambaran yang lebih menyeluruh, seharusnya dipakai beberapa nilai percepatan sesuai gempa yang mungkin terjadi pada tempat tersebut sebagai input. Kehadiran gempa, biasanya dirasakan getaran ulang-alik ke arah horizontal dan jika sumber gempa sangat dekat, barulah getaran naik-turun akan dirasakan pula.

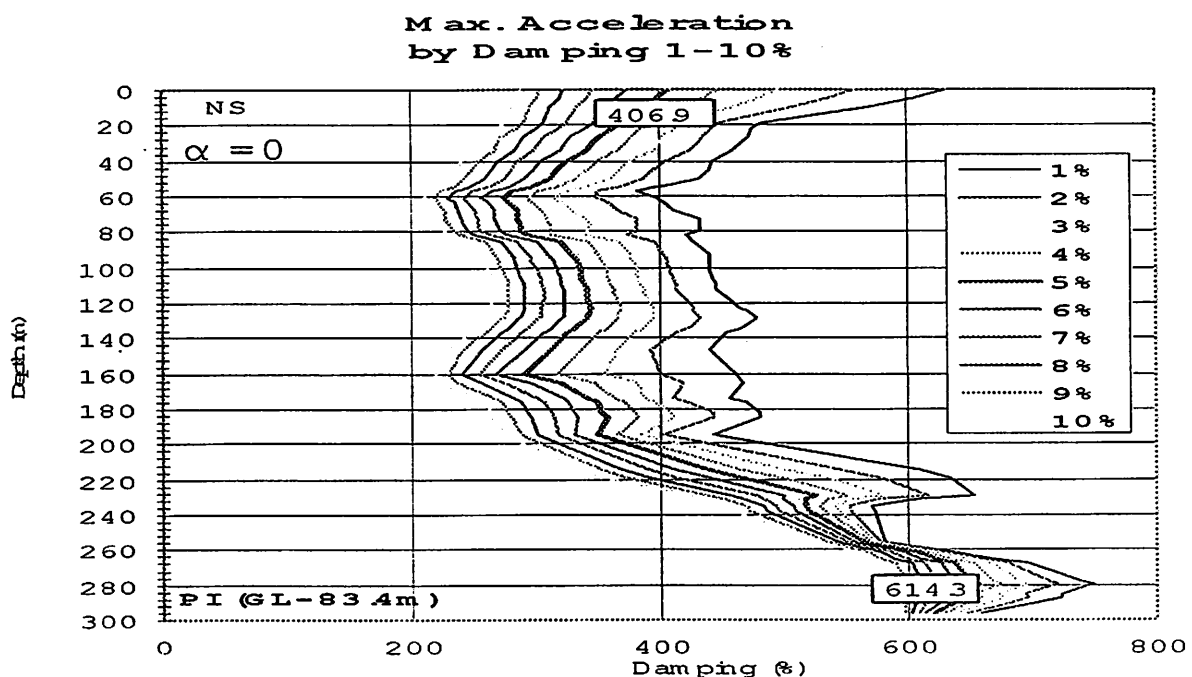
Pengaruh gempa terhadap perilaku suatu struktur sangat kompleks, karena dapat menyebabkan perubahan-perubahan sehingga diperlukan asumsi-asumsi penyederhanaan agar model matematika sistem struktur dapat dianalisis sesuai ilmu mekanika teknik. Asumsi penyederhanaan yang diambil seyogyanya tidak menyebabkan perbedaan besar dengan perilaku struktur aslinya sehingga untuk merencanakan suatu bangunan terhadap pengaruh gempa, biasanya para perencana mengambil beban dan arah gempa sesuai peraturan yang berlaku. Ketentuan-ketentuan dalam peraturan gempa tentunya diusahakan agar aman terhadap berbagai kondisi gempa yang diperkirakan, namun tidak mungkin mencakup semua kondisi yang dapat terjadi. Oleh karena itu, perencanaan yang baik harus mengerti latar belakang dan batasan-batasan ketentuan dari peraturan gempa tersebut.

Untuk mendapatkan gambaran bagaimana nilai percepatan maksimum mempengaruhi perilaku suatu struktur bangunan akibat gempa, dengan berbagai

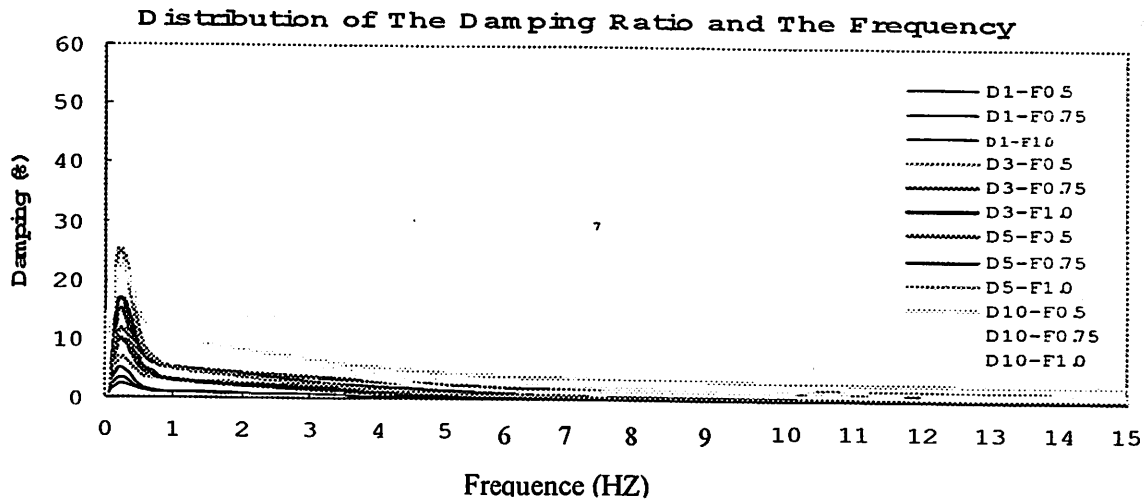
perubahan yang terjadi. Maka dapat dilihat dari desain awal percepatan maksimum yang dipakai sebagai input model matematika didalam struktur bangunan. Perilaku atau respons dari suatu struktur akan terlihat pada spektra respons, dimana respons terbesar dapat dibaca/ditentukan. Untuk setiap percepatan maksimum maka setiap struktur satu-massa dengan waktu getar alami tertentu, kita mendapat respons terbesar yang tertentu pula. Dengan demikian kita dapat membuat grafik respons percepatan terbesar sebagai fungsi dari waktu getar alami struktur.

Berdasarkan perhitungan nilai percepatan tanah menunjukkan angka 406 gal pada posisi damping 5%, sedangkan pada posisi damping diatas 5% sampai dengan 10% maka percepatan tanah maksimum menunjukkan nilai 245 gal. Pada kondisi damping 5% angka ini menunjukkan nilai cukup besar, hal ini karena dipengaruhi oleh input gempa dengan simulasi gempa Kobe berskala 7.2 Richter dengan sumber gempa cukup dekat, dan jarak kurang dari 10 km. Perubahan kedalaman dan ketebalan pelapisan pada analisa ini menunjukkan bahwa semakin dangkal pelapisan yang dikenakan, akan semakin besar nilai percepatan tanahnya. Begitu juga pada nilai damping yang digunakan dimana semakin nilai dampingnya besar maka percepatan maksimumnya akan semakin kecil.

Dibawah ini ditunjukkan grafik pada posisi damping masing-masing 1%, 5%, dan 10%, dengan nilai  $\alpha = 0$  (*non-viscous*) menunjukkan nilai percepatan tanah di permukaan  $\pm 400$  gal yang dimulai dari angka 600 gal sehingga mengalami penurunan. Hubungan antara damping dan frekuensi juga dapat dilihat pada gambar 2.

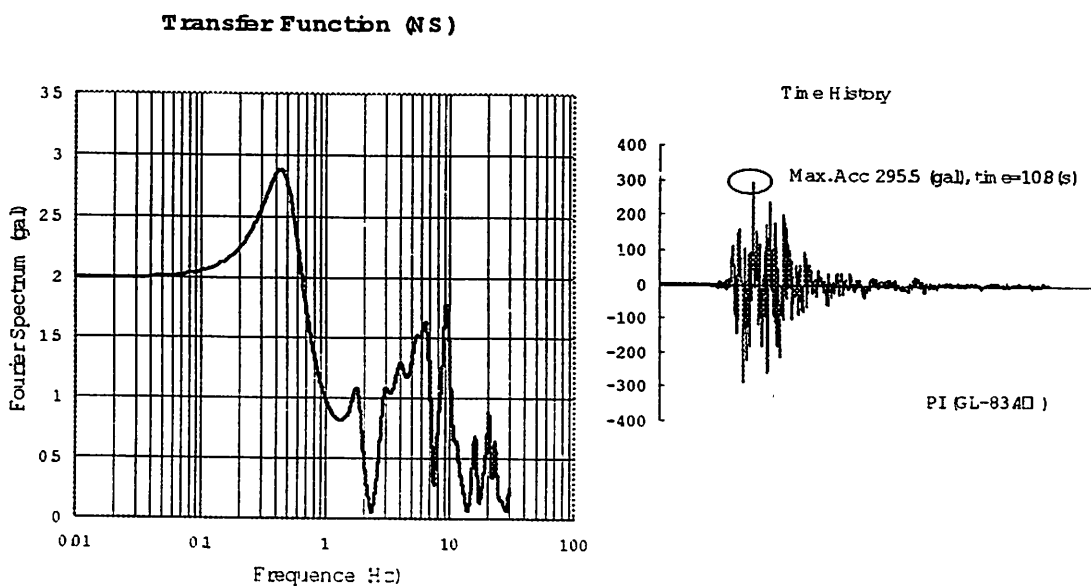


Gambar 2. Nilai percepatan tanah maksimum dari beberapa damping yang dicoba dengan kondisi non-viscous ( $\alpha = 0$ )



Gambar 3. Grafik hubungan antara damping dan frekuensi

Data digitasi riwayat waktu (*time histories*) adalah data percepatan gempa yang didapat dari stasiun pencatatan gempa saat terjadinya gempa. Data ini digunakan sebagai input motion yang akan diskalakan dalam analisis perambatan gelombang gempa dari batuan dasar ke permukaan tanah. Hal yang paling penting untuk mendapatkan hasil yang akurat adalah pemilihan *time histories* yang sesuai dengan kondisi spesifik geologi dan seismologi lokasi yang ditinjau. Grafik dibawah ini adalah nilai percepatan *time history* yang menunjukkan angka maksimum 295.5 gal pada posisi damping 1% dan alpha 0.5. sedangkan frekuensinya adalah 10.8 detik. Analisis menunjukkan semakin besar nilai dampingnya akan menghasilkan semakin kecil nilai percepatannya, begitu juga *transfer function*-nya.



Gambar 4. Perhitungan *transfer function* dan *time history* pada bor D28 (300 meter)

Dalam banyak peraturan, biasanya lama getaran gempa antara 10 detik sampai 20 detik. Namun untuk daerah dimana kemungkinan terjadinya gempa tinggi (*highly seismic area*), lamanya gempa bisa lebih dari 30 detik, dan hal ini perluantisipasi. Agar spektra rencana masih konservatif, maka yang dipakai untuk perencanaan adalah respons maksimum dari berbagai masukan gempa. Analisis dinamik akan bermanfaat ketika daerah yang akan dibangun adalah daerah yang termasuk tidak stabil karena adanya gempa. Dari pengamatan perilaku pondasi yang mengalami gempa besar diketahui bahwa secara umum struktur dapat meredam dan memancarkan energi gempa yang besar melalui perilaku pasca elastis sebelum terjadi keruntuhan. Artinya struktur setelah mengalami pelepasan pertama (*first yield*) masih dapat menahan energi gempa yang besar tanpa mengalami keruntuhan.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan percepatan tanah maksimum dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Analisis dinamik akan sangat bermanfaat pada daerah yang memiliki gempa (daerah yang tidak stabil).
2. Analisis yang menggunakan simulasi gempa yang masih bisa dipahami asal gempa yang digunakan mempunyai kesamaan tipe dan skala.
3. Pada nilai damping maka percepatan maksimum akan semakin kecil bila damping besar.
4. Pada nilai  $\alpha=0$  (*non viscous*) memberikan nilai percepatan maksimum semakin berkuang dengan bertambahnya kedalaman pelapisan dan damping, begitu juga pada model  $\alpha \neq 0$  (*viscuos*) maka percepatan maksimum tidak banyak terpengaruh oleh perubahan frekuensi dengan nilai  $\alpha$  nya.
5. Untuk percepatan *time history*-nya, maka semakin besar nilai dampingnya akan semakin kecil percepatan *time history*-nya.
6. Analisis struktur dalam kondisi elastis pada taraf gempa tertentu kiranya dapat menjadi alternatif yang lebih baik untuk diterapkan pada bangunan gedung yang dianggap penting.
7. Progam Shake dilakukan secara manual dengan membuat modifikasi program dan memasukan input data.
8. Dengan tidak terdapatnya batas tanah dan batuan didasarkan nilai kecepatan gelombang geser maka hasil analisis percepatan maksimum masih belum sempurna dan kesulitan analisa bila tidak ada input data gempa.



**DAFTAR PUSTAKA**

1. User Manual For SHAKE, Center Geotechnical Modeling Departement of Civil Engineering Chuo University, Tokyo, Japan, 1995.
2. Takeji Kokusho, Energy Dissipation in Surface layer due to Vertically Propagation SH Wave, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2002.
3. Takeji Kokusho, Seismic Amplification Evaluation in a Very Deep Down Hole Array Site, 1997.
4. Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station Construction Office, Methodology of field Investigation and Laboratory Test On Soft Rock and Analysis of Soft Rock Foundation, April 1992.
5. Committee of Civil Engineering of Nuclear Power Facilities, Seismic Resistance Evaluation Methods For Foundation Ground for Nuclear Power Plant and for Critical Civil Engineering Structure Power Plant, 1996.
6. Japanese Geotechnical Society, Soils and Foundations, January 1996,
7. Kenji Ishihara, Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics, 1996