

PENGARUH INTERAKSI KINEMATIK MASSA BANGUNAN TERHADAP RESPONS NON LINIER INELASTIK LAPISAN TANAH

Muhammad Irfan Marasabessy¹, Widodo²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam
Indonesia

Email: irfanmarssy95@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam
Indonesia

Email: widodo355@gmail.com

ABSTRACT

By the increase of strong motion data, soils response has become inelastic dynamic response. Based on the load-deformation relation of soils that are non linear, then soils response will be a non linear analysis of inelastic. One of the methods that describe strain-stress relation of soils was Ramberg Osgood Hysteretic (1943). The condition of soil layers will different between free field and building mass effect. A mass of building will have an impact on increasing ground stiffness so that dynamic response would come out different. These differences need to be researched to provide information how the influence of the building on the dynamic response of ground below. The evaluation of inelastic response was done by taking the theoretical standpoint of earlier references and investigating the two soil profile in Yogyakarta. Both of them is Mataram City Hotel and Academic Hospital of Universitas Islam Indonesia. In addition, there are also data structures as input of the load mass building that will affect the soil layers. The analysis was done with variation of soil deposits and earthquake records (Bucharest, Elcentro, Duzce Turki Elnashai, Manjil, Duzce Turki, and Loma Prieta), then these analysis is presented by using β -Newmark direct integration methods. The formulations are adopted to MATLAB R2010a. The results of analysis have shown that inelastic response will be very significant only in the displacement, shear strain and shear stress. A mass of building will decreases the response of displacement and shear strain of soil layers. In addition, it is also increase the response of shear stress. The velocity and acceleration response shows significant decrease on the first soils profile for each earthquake. It is different for second soils profile that shows significant decrease only on high frequency of earthquake. Meanwhile the spectral acceleration shows that the natural periods of PGA will decrease when the soils was affected by building mass. It means that the frequency of earthquake will be increase..

Keywords: *Anlysis of dynamic soils, inelastic non linear response, Ramberg Osgood Hysteretic Model*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara maritim yang secara geografis dilalui oleh cincin api asia-pasifik sehingga menyebabkan sering terjadinya gempa bumi dan letusan gunung berapi. Widodo (2012) menjelaskan bahwa gempa bumi merupakan peristiwa bergetarnya permukaan tanah karena adanya pelepasan energi secara tiba-tiba sebagai akibat dari pecah/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Energi ini dihasilkan dan dipancarkan ke segala arah

berupa gelombang gempa bumi yang sampai ke permukaan tanah.

Gelombang energi gempa yang merambat dari tanah batuan menuju permukaan tanah akan mengalami amplifikasi. Amplifikasi ini adalah peristiwa membesarnya respon tanah (percepatan, kecepatan, ataupun simpangan). Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa peristiwa amplifikasi ini akan memberikan tingkat kerusakan struktur yang lebih besar. Respons tanah akibat gelombang gempa yang terjadi di

tiap lokasi akan berbeda-beda sesuai dengan jenis lapisan tanah dan kekuatan (*magnitude*) gempa itu sendiri. Jenis lapisan tanah dipengaruhi oleh sifat fisik tanah endapan yaitu indeks plastisitas tanah (PI), redaman material tanah (c), kandungan derajat non linier tanah (linieritas tanah), sudut geser dalam (ϕ), berat volume tanah (γ_b), kedalaman tanah endapan (h), kandungan frekuensi getaran gempa (f), dan pengaruh jarak serta kandungan amplitude getaran.

Untuk mengetahui respons tanah akibat amplifikasi setelah terjadinya gempa telah dilakukan banyak penelitian oleh berbagai ahli dengan suatu pendekatan jenis pemodelan struktur tanah tertentu. Salah satu metode pendekatan yang paling mendekati respons sebenarnya adalah model non linier inelastis. Yang dimaksud dengan kondisi non linier inelastis yaitu model struktur tanah yang kekakuannya berubah-ubah menurut fungsi waktu dan pada saat berbalik atau kecepataannya berubah maka respons tanah tidak akan kembali ke jalur semula melainkan membuat jalur sendiri (sifat inelastis) sehingga respons akan membentuk garis lengkung atau non linier tertutup. Stewart dkk (2000) mengemukakan bahwa untuk menggambarkan respons tanah pada kondisi non linier inelastis dapat menggunakan hubungan tegangan geser (τ) dengan regangan geser (γ) model Ramberg Osgood (R-O Models).

Penelitian yang dilakukan oleh Andika (2008) menyimpulkan bahwa amplifikasi yang terjadi pada kondisi tanah berperilaku non linier inelastis dengan pendekatan model Ramberg Osgood (R-O Models) akan semakin kecil dengan kandungan frekuensi yang semakin rendah. Tetapi penelitiannya ini yang hanya sebatas pada kondisi tanah bebas (*free field*). Sehingga lanjutan pengembangan dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui respons dari tanah yang dibebani oleh massa bangunan.

LANDASAN TEORI

Mengingat rumitnya hubungan antara tanah dengan fondasi akibat beban dinamik, maka para peneliti memulainya dengan membebani fondasi dangkal dengan beban harmonik. Adhikary dkk. (2009) mengatakan bahwa apabila gerakan tanah mempengaruhi respons struktur dan getaran struktur mempengaruhi respons tanah maka hal itu dinamakan sebagai *soil-foundation interaction* atau secara lengkap disebut *soil-structure interaction* (SSI). Pada SSI terdapat dua hal penting yaitu *inertial interaction* (gaya inersia struktur mengakibatkan gerakan tanah-fondasi) dan *kinematic interaction* (berat bangunan mempengaruhi percepatan tanah dan berbeda dengan di *free field motion*). Yang menjadi bahasan kali ini adalah bagaimana beban massa bangunan dapat mempengaruhi besarnya amplifikasi respons lapisan tanah atau disebut *kinematic interaction*.

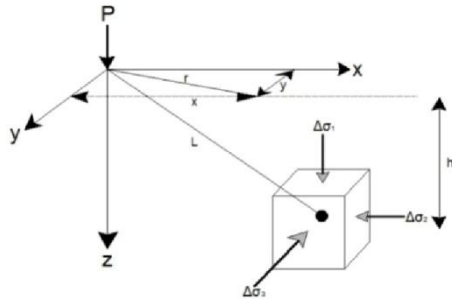
Massa bangunan direpresentasikan menjadi beban aksial kolom terbesar yang kemudian akan membebani tanah sebagai beban titik (P). Menurut Boussineq (1883) nilai efektif tanah vertikal sebagai akibat adanya beban titik dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini.

Berdasarkan Gambar 1 maka nilai tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1 berikut ini.

$$\sigma_1 = \frac{3P}{2\pi L^3} = \frac{3P}{2\pi} \frac{h^3}{(r^2+h^2)^{5/2}} \quad (1)$$

Untuk menyusun persamaan differensial gerakan massa akibat gerakan tanah maka dibuat suatu permodelan matematika yang menghubungkan antara massa, kekakuan, redaman, dan gaya. Penyelesaian persamaan struktur lapisan tanah tidak selalu bisa dilakukan dengan derajat kebebasan tunggal, tetapi pada kenyataannya kondisi tanah adalah berlapis-lapis sehingga perlu dilakukan dengan persamaan derajat kebebasan banyak. Penyelesaian dari persamaan differensial gerakan lapisan tanah dengan

derajat kebebasan banyak (MDOF) dapat ditulis dalam bentuk persamaan 2.



Gambar 1 Pengaruh beban P pada tegangan tanah
(Sumber : Das, 1993)

$$[M][\ddot{Y}] + [C][\dot{Y}] + [K][Y] = [0] \quad (2)$$

Dimana, M, C, dan K berturut-turut adalah matrik massa, redaman, dan kekakuan. Sedangkan \ddot{y} , \dot{y} , dan y berturut-turut adalah percepatan, kecepatan, dan simpangan.

Persamaan differensial tersebut diatas kemudian diselesaikan dengan metode integrasi langsung β -Newmark. Persamaan 2 diatas dapat ditulis kembali sebagai berikut.

$$m\Delta\ddot{y}_i + c\Delta\dot{y}_i + k\Delta y_i = \Delta p_i \quad (3)$$

Pada metode β -Newmark digunakan perjanjian notasi untuk perubahan simpangan (Δy), perubahan kecepatan ($\Delta\dot{y}$), dan perubahan percepatan ($\Delta\ddot{y}$). Untuk memulai proses integrasi numerik tersebut maka digunakan persamaan perubahan percepatan sebagai berikut:

$$\Delta y_i = \frac{\Delta \hat{P}}{\hat{K}} \quad (4)$$

$$\Delta \dot{y}_i = \left(\frac{\gamma}{\beta \times \Delta t} \times \Delta y_i\right) - \left(\frac{\gamma}{\beta} \times \dot{y}_i\right) + \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta}\right) \cdot \Delta t. \quad (5)$$

$$\Delta \ddot{y}_i = \left(\frac{1}{\beta \times \Delta t^2} \times \Delta y_i\right) - \left(\frac{1}{\beta \times \Delta t} \times \dot{y}_i\right) + \left(\frac{1}{2\beta} \times \ddot{y}_i\right) \quad (6)$$

dengan,

$$\hat{K} = [K] + \left\{\frac{\gamma}{\beta \times \Delta t} \times [C]\right\} + \left\{\frac{1}{\beta \times \Delta t^2} \times [M]\right\} \quad (7)$$

$$\Delta \hat{P}_i = (p_{i+1} - p_i) + a, \dot{y}_i + b, \ddot{y}_i \quad (8)$$

Nilai \hat{K} pada persamaan diatas adalah kekakuan efektif. Selanjutnya nilai a dan b pada persamaan 7 dan persamaan 8 diatas dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$a = \left\{\frac{1}{\beta \times \Delta t} \times [M]\right\} + \left\{\frac{\gamma}{\beta} \times [C]\right\} \quad (9)$$

$$b = \left\{\frac{1}{2 \times \beta} \times [M]\right\} + \left\{\left(\frac{\gamma}{2 \times \beta} - 1\right) \times \Delta t \times [C]\right\} \quad (10)$$

Selanjutnya besarnya nilai simpangan, kecepatan dan percepatan pada akhir interval dapat dicari dengan persamaan berikut

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i \quad (11)$$

$$\dot{y}_{i+1} = \dot{y}_i + \Delta \dot{y}_i \quad (12)$$

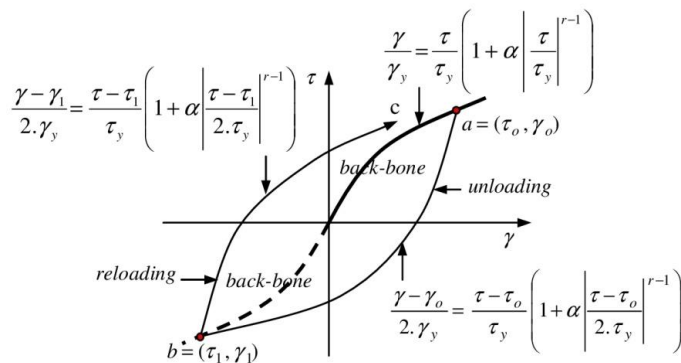
$$\ddot{y}_{i+1} = \ddot{y}_i + \Delta \ddot{y}_i \quad (13)$$

Model histeretik Ramberg Osgood (1943), terdiri dari tiga kondisi tertentu yaitu kondisi pembebanan awal (*backbone*), kondisi pengurangan pembebanan (*unloading*) dan kondisi pembebanan kembali (*reloading*) sebagaimana terlihat pada Gambar 2.

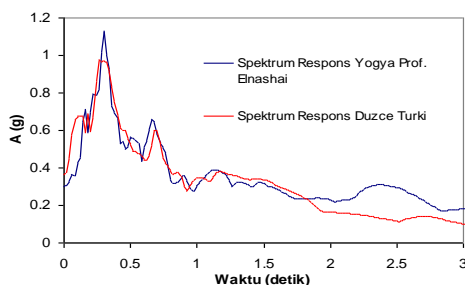
METODE PENELITIAN

Data tanah berlokasi di dua tempat berbeda, Untuk profil tanah 1 di lokasi Proyek Hotel Mataram City Jalan Palagan Yogyakarta. Sedangkan untuk profil tanah 2 yaitu Proyek Perencanaan Gedung RSA UII yang berlokasi di Jalan Srandakan, Bantul, Yogyakarta. Properties tanah untuk kedua profil tersebut didapatkan dengan cara korelasi nilai N-SPT.

Dalam analisis penelitian ini dimodelkan struktur menggunakan *software* ETABS. Hasil yang didapat berupa gaya aksial kolom dasar yang akan menjadi beban titik (Point Load) pada lapisan tanah dibawahnya. Struktur untuk profil tanah 1 adalah Hotel Mataram City dan untuk profil tanah 2 adalah Gedung Rumah Sakit Akademik UII. Berdasarkan Analisis diatas didapatkan nilai gaya aksial kolom dasar terbesar untuk Profil Tanah 1 (Mataram City) adalah sebesar 1125.7 Ton. Sedangkan untuk Profil Tanah 2 (RSA UII) adalah sebesar 747.5 Ton.



Gambar 2 Histeretik Ramberg Osgood dan rules yang dipakai (Sumber: Widodo, 2017)



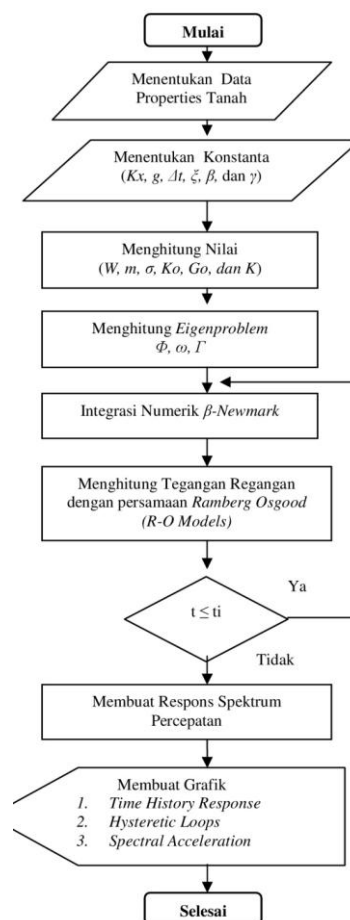
Gambar 3 Respons Spektrum Yogyakarta oleh Prof. Elnashai dan Duzce Turki yang telah disamakan.

PEMBAHASAN

Analisis pada penelitian dinamik tanah ini dilakukan dengan menggunakan bantuan bahasa pemrograman Matlab R210a. Data percepatan gempa yang digunakan telah dinormalisasi terhadap nilai percepatan permukaan tanah gempa Yogyakarta di tahun 2006. Nilai normalisasi untuk lokasi profil tanah 1 (Hotel Mataram City) di jalan Palagan adalah sebesar 0.225 g (220,5 cm/det²). Sedangkan untuk lokasi profil tanah 2 (RSA UII) di Srandakan, Bantul adalah sebesar 0.3 g (294 cm/det²).

Salah satu hasilnya adalah yang seperti disajikan pada gambar 5 untuk profil tanah 1 dan gambar 6 untuk profil tanah 2. Gambar tersebut adalah respons percepatan yang terjadi pada tanah dasar (*base rock*) dan lapis tanah teratas (*surface*) akibat gempa Duzce Turki Elnashai. Terlihat bahwa amplifikasi percepatan akibat adanya massa bangunan akan jauh lebih kecil dibanding ketika tanpa bangunan (*free*

field). Selain itu hasil ini juga menunjukkan bahwa simpangan tanah akan mengecil ketika dibebani oleh massa bangunan. Sehingga penjelasan mengenai bangunan yang berfungsi sebagai pasak sebagaimana gunung-gunung dapat dijelaskan melalui nilai simpangan ini.

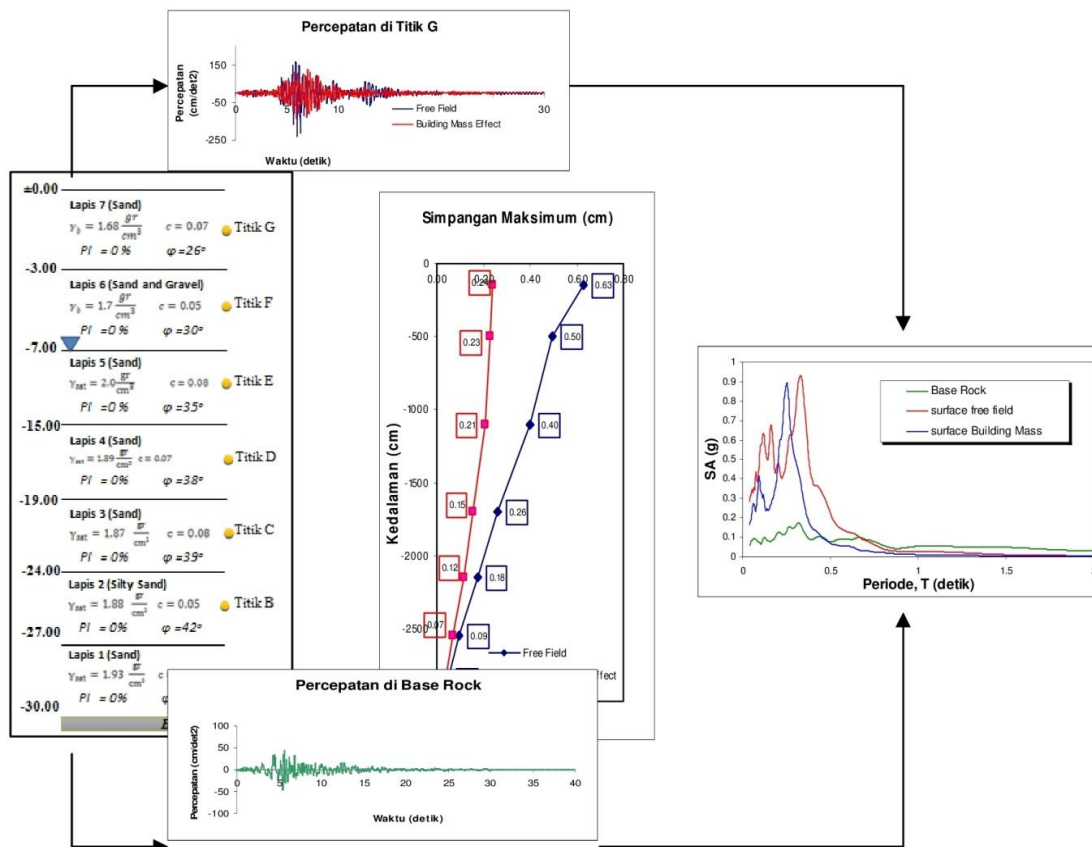


Gambar 4 Bagan Alir Penelitian

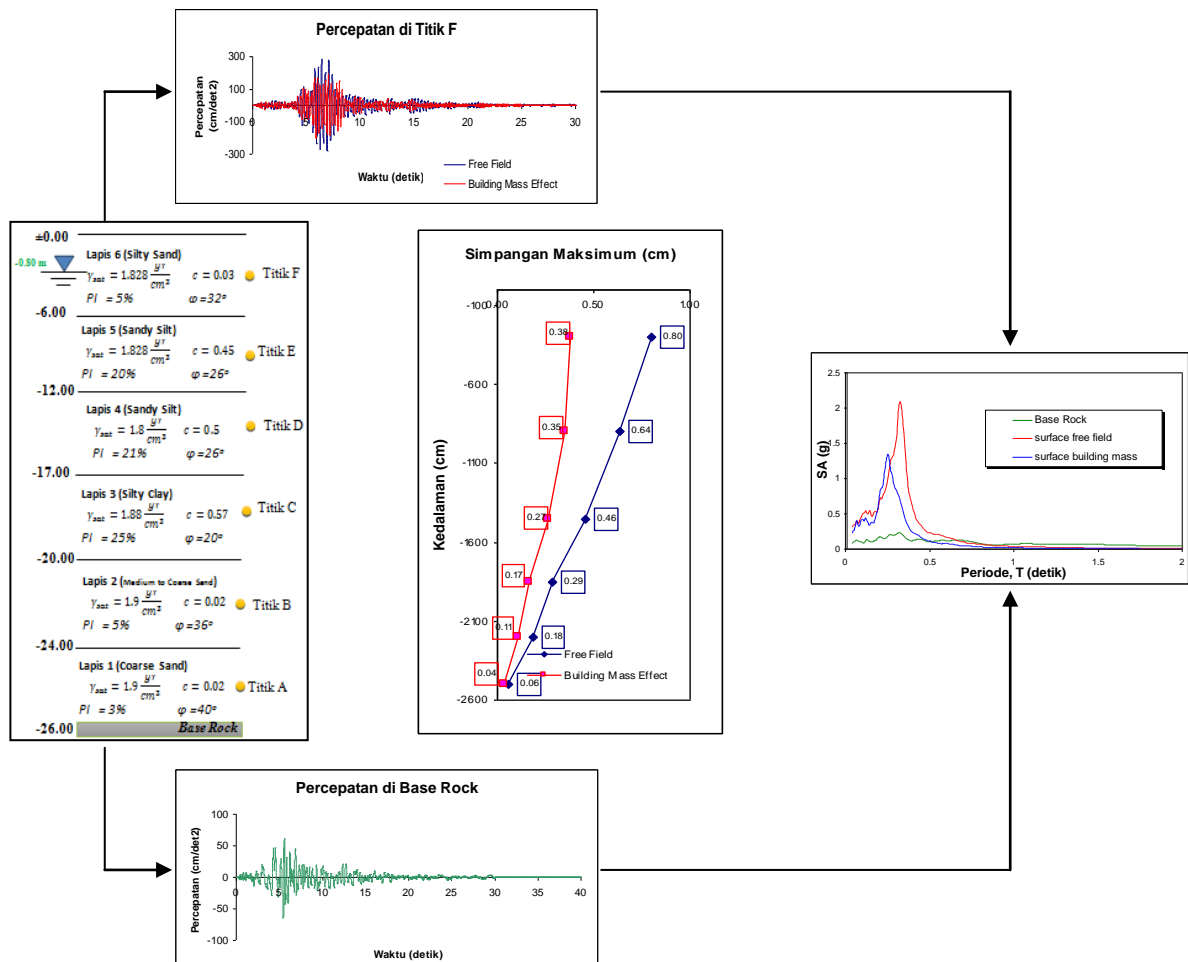
Gambar berikut ini juga memperlihatkan bahwa respons spektrum yang terjadi di permukaan (*surface*) tanah memiliki periode getar yang bergeser ke kanan dari periode getar di tanah dasar (*base rock*) untuk kondisi tanah bebas (*free field*). Sedangkan untuk kondisi ketika terbebani oleh massa bangunan (*building mass effect*) menghasilkan nilai periode getar tanah yang lebih kecil dari kondisi *free field*. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan frekuensi pada tanah permukaan akan membesar jika terdapat bangunan di atasnya. Jika dihubungkan dengan periode getar bangunan maka akan berbanding terbalik

yang mana semakin tinggi bangunan maka periode getar struktur akan semakin membesar, sehingga mencegah terjadinya resonansi atau kesamaan periode getar struktur dan tanah.

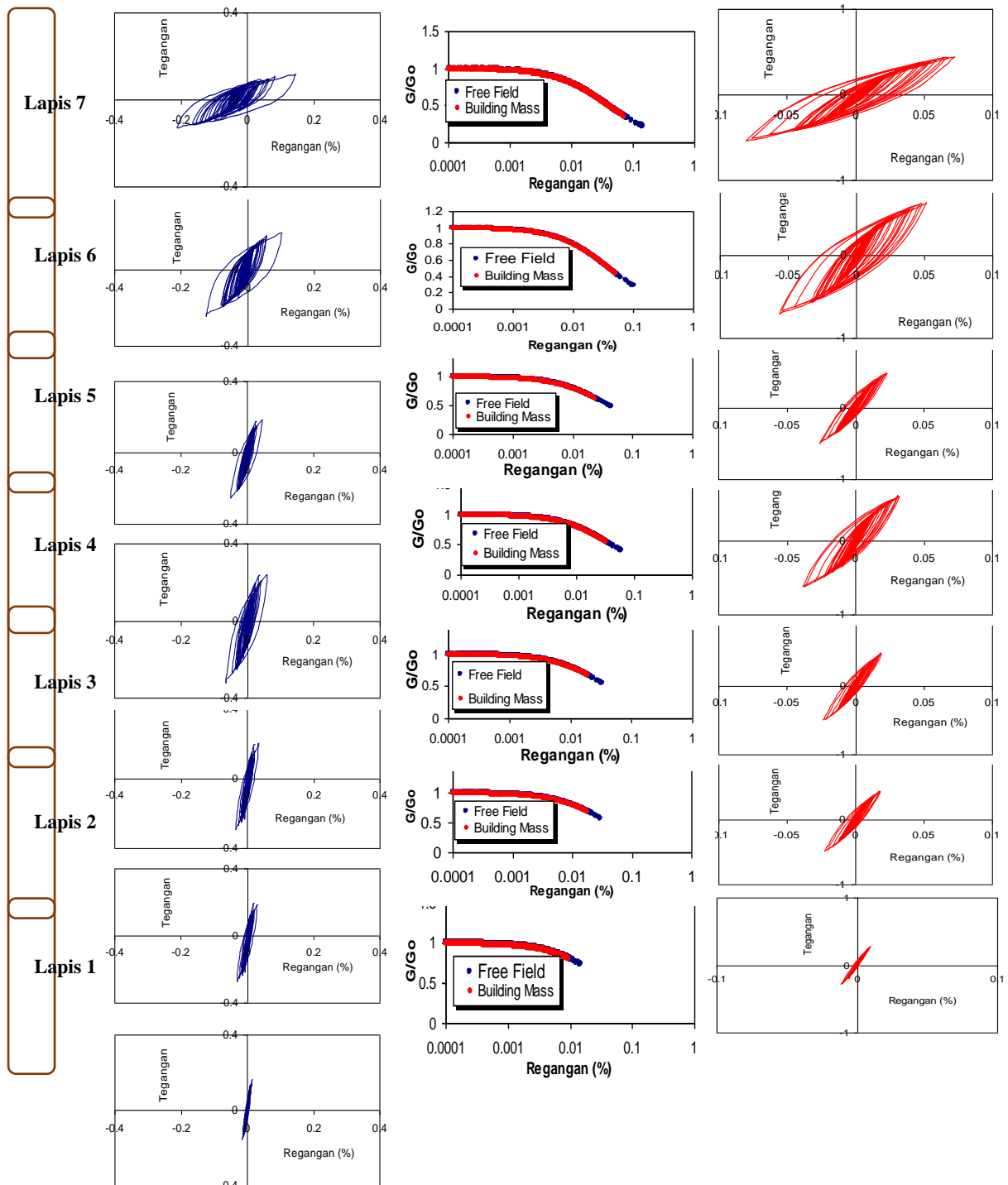
Apabila terjadi gempa maka kekakuan tanah akan berubah-ubah yang semula dalam kondisi elastis maka akan menjadi inelastis. Kekakuan tanah ini dapat digambarkan sebagai hubungan tegangan-regangan yang direpresentasikan dalam *non-linier inelastik ramberg osgood model* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



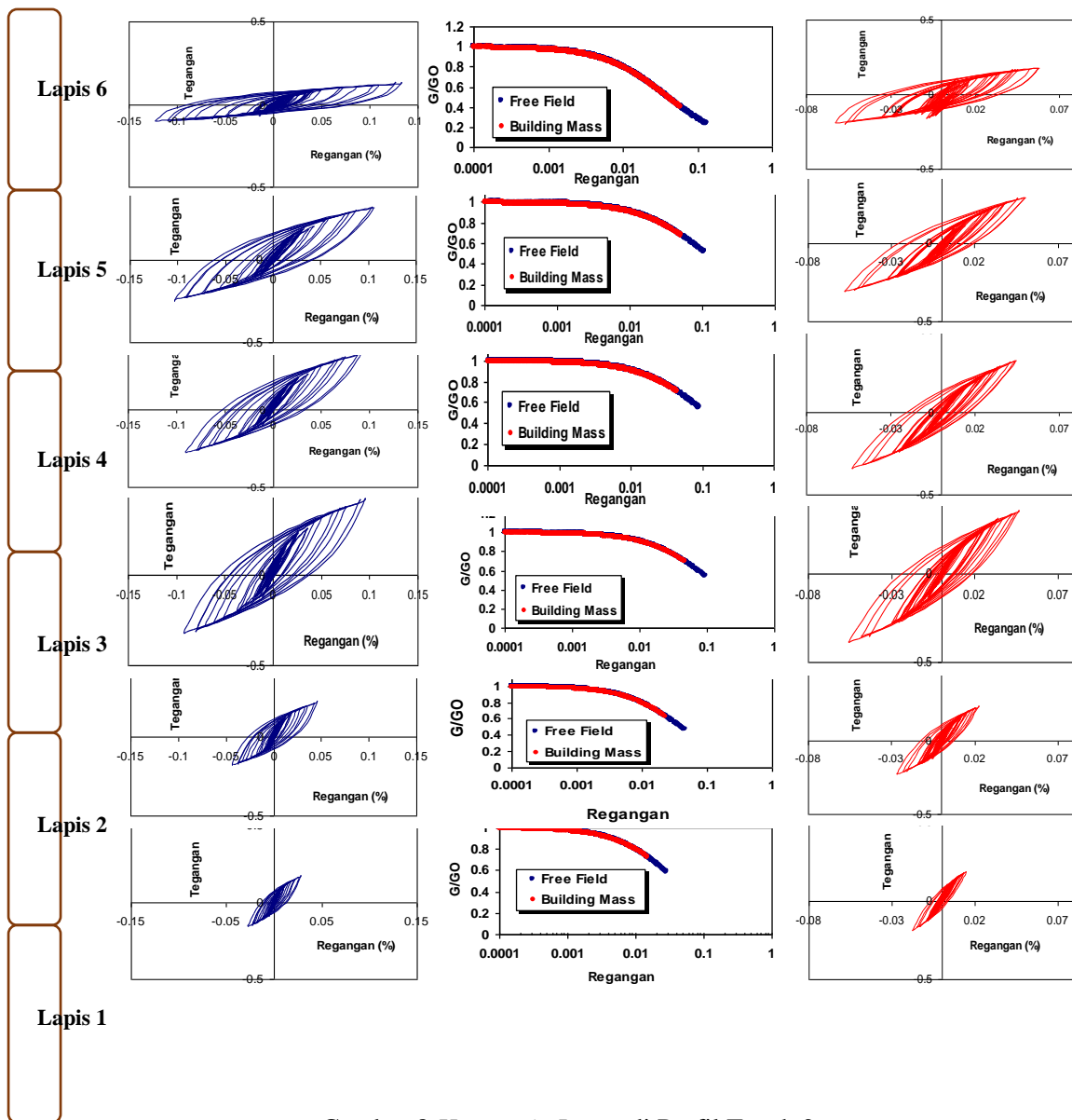
Gambar 5 Respon Dinamik Akibat Gempa Duzce Turki Elnashai Profil Tanah 1



Gambar 6 Respon Dinamik Akibat Gempa Duzce Turki Elnashai Profil Tanah



Gambar 7 Hysteretic Loops di Profil Tanah 1



Gambar 8 *Hysteretic Loops* di Profil Tanah 2

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Respons simpangan untuk kondisi tanah terbebani massa bangunan (*building mass effect*) jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan simpangan pada tanah bebas (*free field*). Selain itu untuk semua jenis frekuensi gempa dari rendah sampai tinggi juga menghasilkan

simpangan yang lebih kecil ketika ada bangunan di atasnya.

2. Perbandingan respons percepatan kondisi *free field* dan *building mass* pada profil tanah 1 menunjukkan perbedaan yang signifikan dimana percepatan pada kondisi *building mass* lebih kecil dari kondisi *free field*. Sedangkan pada profil tanah 2 nilai percepatan akibat massa bangunan akan mengecil pada frekuensi gempa yang tinggi.

3. Spektrum respon menunjukkan periode getar PGA di permukaan tanah akibat massa bangunan akan lebih kecil dibanding ketika kondisi tanah bebas (*free field*), sehingga frekuensi percepatannya semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikary, S. Singh, Y. and Paul, D.K. (2009). *Modelling of Soil-Foundation-Structure System*. Department of Earthquake Engineering, IIT Roorkee.
- Anhika, A., (2008). *Respons Non Linier Inelastik Lapisan-lapisan Tanah Akibat Gempa Menurut Ramberg Osgood Models (R-O Models)*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Braja M. Das, (1993). *Principles of Soil Dynamic*, Southern Illinois University at Carbondale, PWS - Kent Publishing Company, Boston - United State Of America.
- Hardian B. Dan Black W.L (1969). *Vibration Modulus of Normally Consolidated Clay*, Journal of The Soil Mechanics and Foundation Division. ASCE.
- Ishihara K. (1992). *Evaluation of Soil Properties for Use in Earthquake Response Analysis*. International Symposium on Numerical Models in Geomechanic. Zurich.
- Vucetic M. Dan Dobry R. (1999). Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response, *Journal of Geotechnical Engineering*. ASCE.
- Widodo, (2001). *Respons Dinamika Struktur Elastik*, Universitas Islam Indonesia Press, Yogyakarta.
- Widodo, (2012). *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.