

PERBANDINGAN RESPON SPEKTRUM TANAH HIPOTESA DENGAN RESPON SPEKTRUM RSNI 03-1726-201X KOTA SEMARANG

Mahmud Kori Effendi,

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang (UNNES)
Kampus Unnes Gd E4, Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
e-mail: pak_kori@yahoo.com

Abstract: *Nonlinear response analysis of soil in Semarang city is needed currently. There is change in earthquake map in Indonesian Building code from Earthquake with 500 years return period to 2500 years return period. The earthquake records in Indonesia are rare. In this paper Taft earthquake record is used. The calculation of nonlinear response of soil properties was done by finite difference analysis. Viscoelastic, elastoplastic constitutive relations are introduced and the need for using hyperbolic models are mentioned here, nonlinearity is treated by selecting strain compatible soil properties such as shear stiffness and viscous coefficient. Stepwise material properties are taken as the instantaneous slope and assumed to be constant within the given time interval. Case study is hypothesized site in Erdik (1982). The nonlinear analysis is compared with RSNI 03-1726-201X response spectrum for Semarang city. From graphic shown that for period less than 1 sec the response is below of the RSNI 03-1726-201X but for period more than 1 sec the response is more than of RSNI 03-1726-201X.*

Keywords : *Nonlinear soil structure, seismic response*

Abstrak: Analisis respon nonlinear tanah pada kota Semarang saat ini sangat diperlukan. Perubahan peta gempa di peraturan bangunan Indonesia dari peta gempa dengan kala ulang 500 tahun menjadi 2500 tahun mengakibatkan terjadi perubahan pada bentuk respon spektrum. Data rekaman gempa bumi di Indonesia sangat sulit didapatkan. Pada tulisan ini dipakai rekaman dari gempa bumi Taft. Perhitungan respon dinamis nonlinier tanah ditunjukkan dengan menggunakan formulasi beda hingga. Viskoelastik, hubungan konstitutif elastoplastik diperkenalkan dan penggunaan model hiperbolik disebutkan di sini, nonlinier diperlakukan dengan memilih sifat regangan tanah yang kompatibel seperti kekakuan geser dan koefisien kekentalan. Sifat material tahap demi tahap diambil sebagai kemiringan seketika dan diasumsikan konstan dalam interval waktu tertentu. Untuk studi kasus ini parameter tanah menggunakan data dari Erdik (1982). Hasil dari analisis nonlinear tanah dibandingkan dengan respon spektrum dari RSNI 03-1726-201X untuk kota Semarang. Pada grafik terlihat bahwa respon spektrum analisis terletak dibawah dari grafik respon spektrum RSNI 03-1726-201X. Tetapi pada periode lebih besar dari 1 detik terletak diatas respon spektrum RSNI 03-1726-201X.

Kata kunci : Struktur tanah nonlinear, respon gempa, respon dinamika tanah

PENDAHULUAN

Analisis respon nonlinear tanah pada kota Semarang saat ini sangat diperlukan. Perubahan peta gempa di peraturan bangunan Indonesia dari peta gempa dengan kala ulang 500 tahun menjadi 2500 tahun mengakibatkan terjadi perubahan pada bentuk respon spektrum. Data rekaman gempa bumi di Indonesia sangat sulit didapatkan.

Dalam beberapa dekade dengan bertambahnya data getaran kuat yang dihasilkan dari rekaman borehole (lubang bor), perhatian utama diberikan kepada analisis

dinamik nonlinier lapisan tanah.

Pendekatan termasuk sifat tanah yang sesuai dengan nilai regangan telah banyak dipakai oleh banyak peneliti, Erdik [1980] and Boore and Joyner [11]. Model balok geser dikalibrasi dengan sifat lokasi yang diketahui, didapat dengan menggambarkan sifat respon dinamik lokasi dengan frekuensi yang lebar (El gamal, I [12]). Safak, E. [13,14], mempelajari analisis waktu *discrete* memakai bentuk analisis *upgoing and down going waves* dan mengindikasikan bahwa pendekatan waktu *discrete* adalah lebih sederhana dan lebih

akurat daripada memakai teknik frekuensi domain yang diusulkan sebelumnya. Dia juga membandingkan beberapa rekaman gempa yang diukur dari borehole mengindikasikan bahwa satu lapisan equivalent diatas bedrock adalah lebih dominan terhadap oscillator linier yang teredam [14].

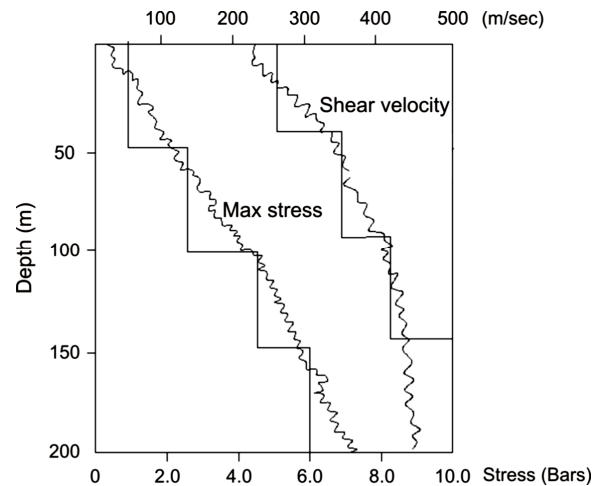
Dalam paper ini diterangkan secara ringkas model konstitutif yang dipakai untuk menggambarkan perilaku tanah dan juga efek nonlinier pada respon tanah pada domain waktu..

Lapisan tanah diasumsikan terbentang tak terbatas pada arah horizontal dan tidak ada interaksi diasumsikan antara batas-batas dan antarmuka lapisan. Penerapan yang berhubungan dengan batas elastic juga dimasukkan ditempat lain pada (4). Formula yang diberikan adalah bentuk eksplisit dan prosedur serangkaian waktu discrete diterapkan. Visco-elastik linier, hysteretik nonlinier dan model material terkombinasi dipersembahkan dan hipotesa pengganti disarankan oleh Pyke (5) juga diadopsi untuk kode pemrograman komputer. Formula adalah cukup sederhana sehingga metode tersebut dapat perluas menjadi Interaksi Struktur-Tanah sederhana dan masalah base isolation.

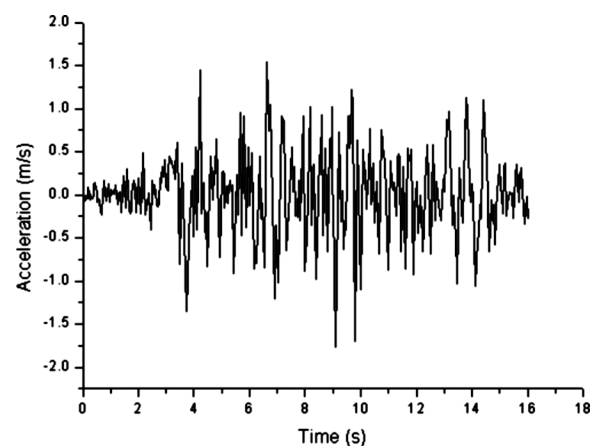
METODE PENELITIAN

Kasus yang diteliti adalah lapisan tanah lunak 200 meter dengan periode fundamenlil 1.70 det. Kecepatan gelombang geser dan tegangan maksimum diasumsikan bervariasi dari 250 m/det sampai 450 m/det dan dari 1.0 sampai 6 bars, (Gambar. 1). Kepadatan konstan 2.05 t/m³ diasumsikan sepanjang kedalaman total. Rekaman gempa Taft (Gambar. 2) diasumsikan bekerja pada lapisan dasar batu

(bedrock) dan kecepatan puncak pada rekaman gempa Taft adalah 1.547g. Kemudian diskala menjadi 0.3 g sesuai dengan $S_1=0,3g$ kota Semarang dan 0,85g sesuai dengan $S_5=0,85g$ kota Semarang pada RSNI 03-1726-201X.



Gambar 1. Karakteristik tanah

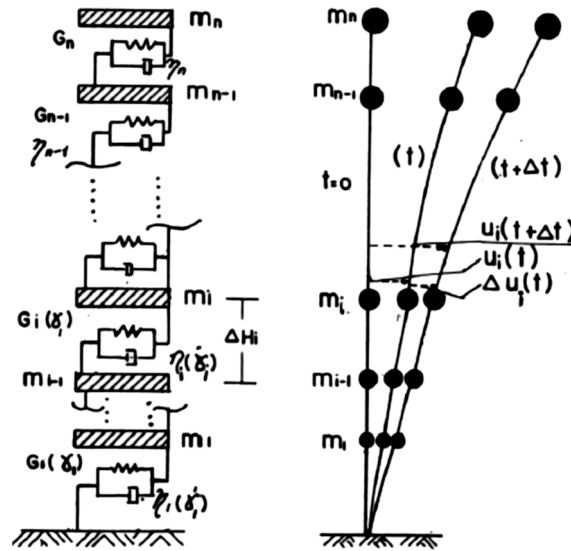


Gambar 2. Rekaman gempa Taft

Hasil analisis lapisan tanah hipotesa dibandingkan dengan respon spectrum RSNI 03-1726-201X.

KAJIAN PUSTAKA

Idealisasi balok geser satu dimensi dipakai untuk menggambarkan respon lateral gempa pada suatu tempat (Zeghal, [17]), digambarkan pada Gambar 3. Persamaan untuk model matematika gerakan dapat ditulis sebagai berikut,



Gambar 3. Shear beam representation of soil column

$$\left\{ \begin{array}{l} \left\{ \ddot{U} \right\}_{nx1 \ t} \frac{\Delta t^2}{2} + \left\{ \dot{U} \right\}_{nx1 \ t} \Delta t + \left\{ \Delta \ddot{U} \right\}_{nx1 \ t} \frac{\Delta t^2}{6} \dots \\ \left\{ \Delta \ddot{U} \right\}_{nx1 \ t} = \left| M \right|_{nxn}^{-1} \left| G^* \right|_{nxn} \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \ddot{U} \right\}_{nx1 \ t} \Delta t + \left\{ \Delta \ddot{U} \right\}_{nx1 \ t} \frac{\Delta t}{2} \dots \\ - \left| I \right|_{nx1} \Delta \ddot{X}_{g_t} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Dimana $\Delta \ddot{U}$, adalah tidak diketahui, vektor percepatan relatif pertambahan pada waktu incremental relative acceleration vector at time $t + \Delta t$,

\ddot{U} dan \dot{U} adalah percepatan dan kecepatan yang diketahui pada waktu, t.

$\Delta \ddot{U}$ adalah percepatan eksitasi tambahan pada waktu $t + \Delta t$

M dan I adalah matriks identitas dan massa konstan

$|G^*|$ dan $|\eta^*|$ adalah matriks kekakuan tangen dan kepadatan

Koefisien kekentalan diasumsikan konstan terhadap tingkat regangan sedangkan modulus

geser diperbaharui oleh parameter geser yang cocok pada setiap perubahan waktu. Vektor diatas dapat didefinisikan dalam bentuk abselut, jika komponen akhir

$-\left| I \right|_{nx1} \Delta \ddot{X}_{g_t}$, pada persamaan (1) diganti

menjadi $\left| M \right|_{nxn}^{-1} \left\{ \begin{array}{l} F_1 \\ \vdots \\ 0 \end{array} \right\}_{nx1}$

Dimana,

$$F_1 = \left(\Delta t \eta_1^* + \frac{\Delta t^2}{2} G_1 \right) \ddot{X}_{g_t} + \left(\Delta t G_1^* \right) \dot{X}_{g_t} + \left(\frac{\Delta t^2}{6} G_1^* \frac{\Delta t^2}{2} \eta_1^* \right) \Delta \ddot{X}_{g_t}$$

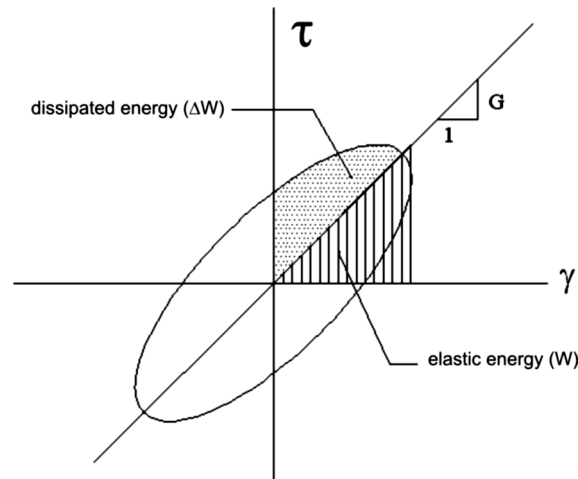
Model Konstitutif Software DAS

Hubungan konstitutif satu dimensi dapat diberikan dengan bentuk sederhana yaitu,

$$\tau = G\gamma + \eta \dot{\gamma}$$

Dimana: τ adalah tegangan geser, dan γ adalah regangan geser, G dan η adalah konstanta geser dan kekentalan.

Pada artikel ini, model visco-elastic dibentuk dengan memakai kombinasi linier dari dua konstanta ini (18), seperti terlihat pada gambar 2. Yang kedua, model histeretik nonlinier (19,20), terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Model Viscoelastic Voigth

Pada Gambar 4 dipakai dengan memasukkan hubungan nonlinier ke bagian yang pertama, sementara mengabaikan bagian yang kedua (2). Akhirnya model kombinasi dipakai dengan memasukkan kekentalan linier ke bagian yang kedua sementara mempertahankan bagian yang pertama menjadi sama dengan kasus kedua.

Model Histeretik Nonlinier

Hubungan konstitutif model Davidenkov memberikan tegangan geser dalam bentuk regangan geser

$$\tau = \tau_c + G_{max}(\gamma - \gamma_c) \left[1 / (1 + |\gamma - \gamma_c|) / (n\gamma_y) \right]$$

Dimana τ_c dan γ_c adalah nilai tegangan geser dan regangan geser pada akhir pembalikan, G_{max} adalah modulus tangen awal dari tanah yang tidak dapat diganggu

(undisturbed soil), γ_c adalah regangan referensi, dan $n=1$ untuk beban awal, -2 dan $+2$ untuk tidak ada beban dan pembeban kembali. Ambil turunan τ terhadap γ akan menghasilkan modulus geser sesaat, G .

Kemiringan dari persamaan ini memberikan kekakuan sesaat, G (Modulus Geser).

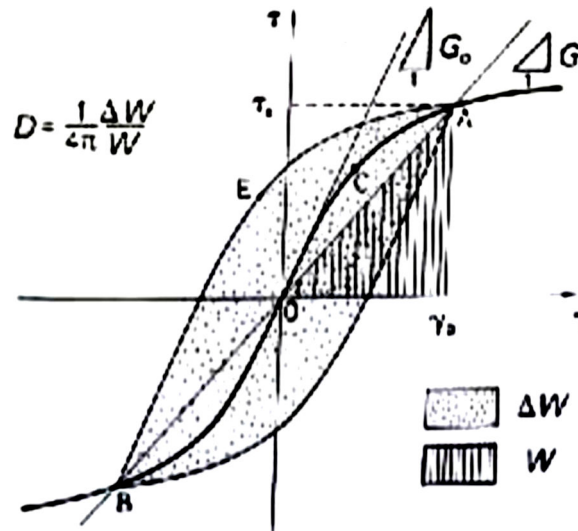
$$\frac{\partial \tau}{\partial \gamma} = G(\gamma) = G_{max} \left| 1 - \frac{X_1}{(n \cdot \gamma_y \cdot X_2)} \right| / X_2$$

Dimana,

$$X_1 = \begin{cases} \gamma - \gamma_c & \text{when } (\gamma - \gamma_c) \geq 0 \\ -(\gamma - \gamma_c) & \text{when } (\gamma - \gamma_c) < 0 \end{cases}$$

$$X_2 = 1 + \text{sign}(\gamma - \gamma_c) / (n \cdot \gamma_y)$$

$$\text{sign} = \begin{cases} +1 & \text{when } (\gamma - \gamma_c) \geq 0 \\ -1 & \text{when } (\gamma - \gamma_c) < 0 \end{cases}$$



Gambar 5. Model Hyperbolic, memenuhi persyaratan Masing

Hipotesis Perubahan

Karena penerapan beban tidak beraturan, tanah tidak mengikuti aliran yang disarankan. Pyke (1) mengusulkan hipotesis perubahan yang sederhana dan efisien untuk menggambarkan perilaku tanah. Karena asumsi ini, model hiperbolik sederhana terbentuk (Gambar 6) dengan mengepaskan bentuk hiperbola dari titik pembalikan akhir menjadi asimptot yang didefinisikan sebagai

$$\frac{\tau}{\tau_{max}} = \pm 1$$

Dimana τ_{max} adalah tegangan geser maksimum dan τ adalah nilai tegangan geser yang diketahui. Pada pendekatan ini, sebagai pengganti konstanta factor skala "n", factor baru diberikan sebagai

$$c = |\pm 1 - \tau_c / \tau_{max}|$$

Dimana τ_c adalah tegangan geser pada titik pembelokan akhir.

Pada bagian pertama negatif bila tidak ada beban dan positif bila ada beban. Skala akan selalu lebih kecil daripada 2 dan akan

berubah pada setiap pembalikan. Akan tetapi pada beban siklik akan ada perubahan minor antara putaran (loop) selanjutnya tetapi kestabilan akan tercapai setelah beberapa siklus.

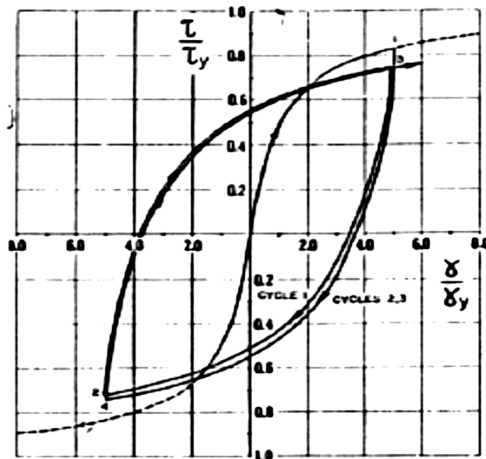
Persamaan dapat disusun ulang menjadi,

$$\frac{\tau}{\tau_y} = \frac{\tau_{max}}{\tau} + \frac{(\gamma - \gamma_c)}{\gamma_y} \left| 1 / (1 + |\gamma - \gamma_c| / (c\gamma_y)) \right|$$

Dimana

γ_y adalah regangan referensi, γ_c adalah koordinat titik pembalikan akhir, τ_{max} adalah tegangan geser maksimum, dan τ adalah nilai tegangan yang diketahui.

Nilai pertumbuhan regangan tetap tergantung pada efek riwayat regangan dan umumnya putaran (loop) stabil terbentuk. Karena itu, tidak seperti aturan Masing (Gambar 3), batas tegangan tidak pernah terlewati dan kurva tidak terbebani-terbebani tidak sama dengan kurva sebelumnya (Gambar 4).



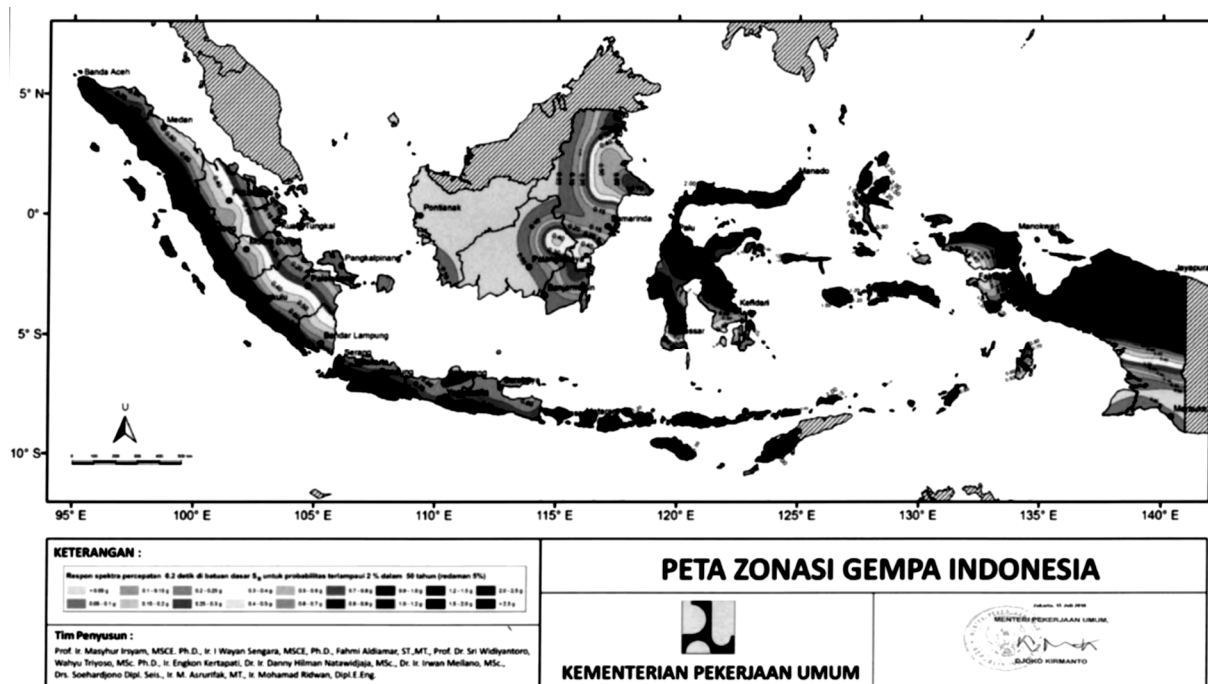
Gambar 6. Stabilitas putaran pada hipotesis alternatif Pykeothesis

Model konstitutif yang diusulkan dan diperoleh diadopsi kedalam program komputer BASIC oleh (Uckan, 1987) dan disebut DAS dalam jurnal ini.

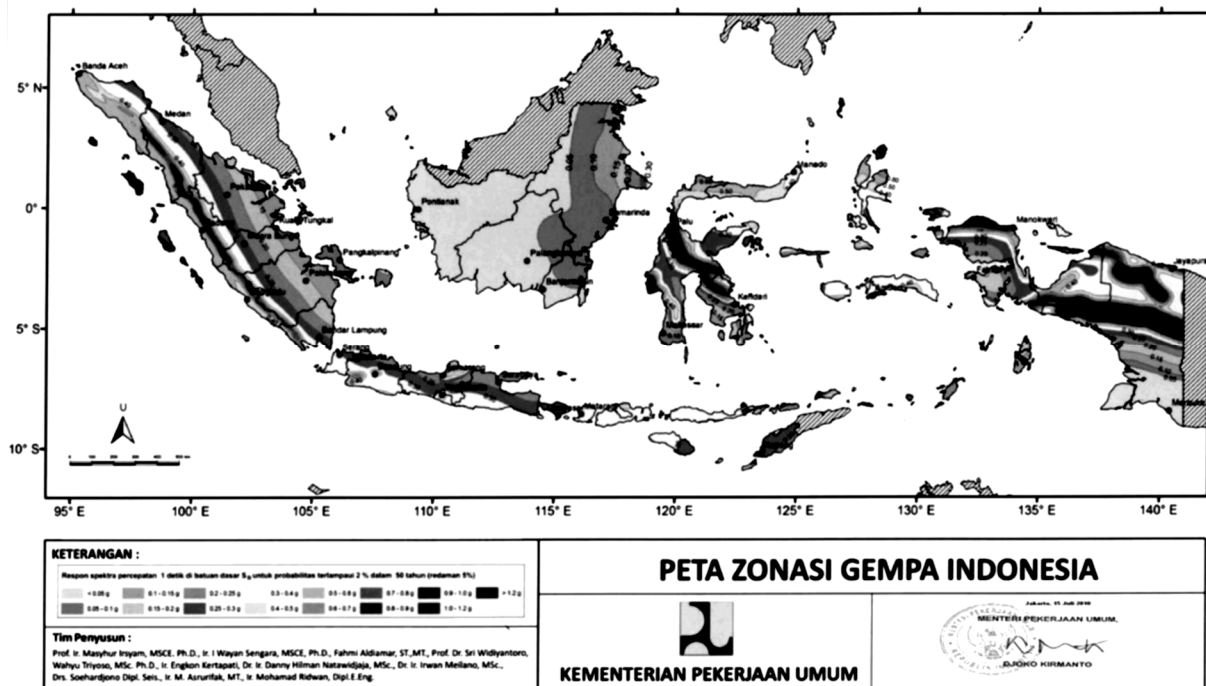
RESPON SPEKTRUM RSNI 1726-201x

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa saat ini mengalami peralihan dari SNI 1726-2002 ke RSNI 1726-201x. Sebelum melakukan perhitungan mengenai beban gempa yang ada maka perlu untuk mencari di peta

zona gempa lokasi dari struktur yang akan dihitung. Kontur zona gempa yang baru didasarkan pada beberapa nilai yaitu S_S dan S_1 . Peta gempa respon spektra dengan 2 % probabilitas terlampaui untuk 50 Tahun (0.2 detik dan 1 detik) digunakan untuk perhitungan desain struktur atas yaitu S_D dan S_{D1} . Peta gempa yang akan digunakan untuk membuat grafik response spectrum dapat dilihat pada Gambar 7 , Gambar 8.



Gambar 7. Response Spectra Percepatan dengan Periode 0.2 Detik [S_S]



Gambar 8. Response Spectra Percepatan Dengan Periode 1 Detik [S_1]

Proses pembuatan respon spektrum gempa yang akan digunakan sebagai acuan dalam menghitung beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan pada dasarnya cukup sederhana tetapi memerlukan pemahaman yang mendasar mengenai peta yang akan digunakan, letak lokasi dan kondisi tanah yang ada. Beberapa tahapan yang harus dilakukan

1. Input parameter yang diperlukan adalah S_S dan S_1 yang bisa didapatkan dari peta Kontur yang baru, Dari peta kontur tersebut

didapatkan nilai perkiraan S_S : 0.85 g dan S_1 : 0.3 g. Pada Tabel 1 nilai F_a dapat dicari menggunakan interpolasi secara linear. Nilai F_a adalah 1,06 untuk SC (tanah keras), 1,16 untuk SD (tanah sedang), 1,08 untuk SE (tanah lunak).

2. Dengan cara yang sama F_v bisa didapatkan juga dengan menggunakan interpolasi pada Tabel 2. Nilai F_v adalah 1,50 untuk SC (tanah keras), 1,80 untuk SD (tanah sedang), 2,80 untuk SE (tanah lunak).

Tabel 1. Site Coefficient F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Gempa MCE_R terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_S				
	$S_S = 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1$	$S_S = 1,25$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1	1	1	1	1
SC	1.2	1.2	1.1	1	1
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1
SE	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
SF			$SS^{(b)}$		

Catatan :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_S dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) S_S = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situr spesifik, lihat pasal 6.9.1

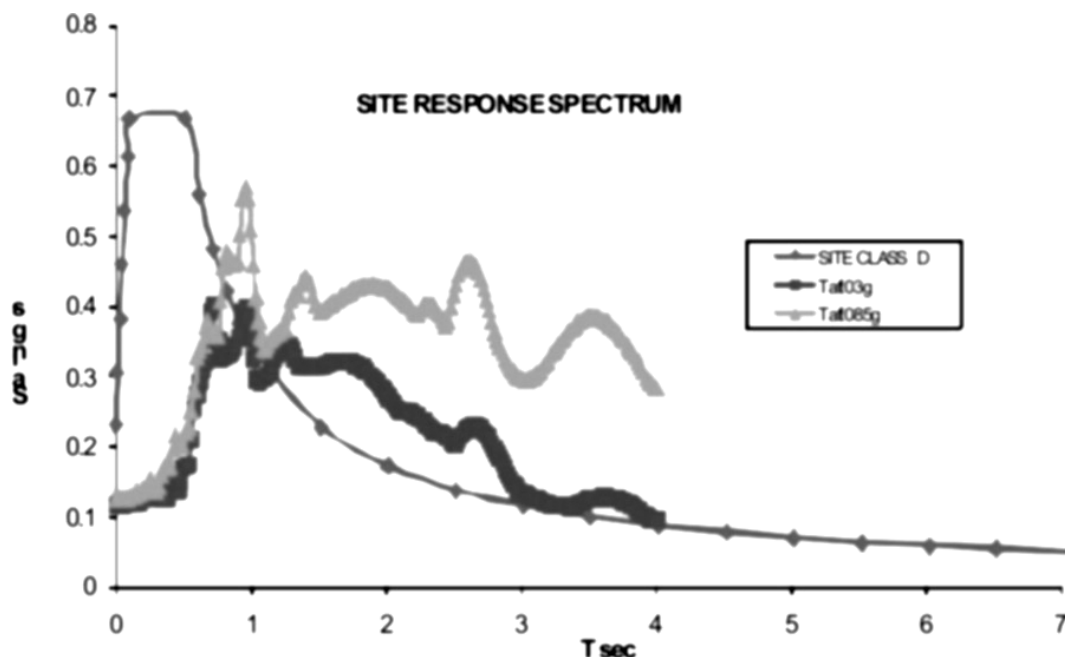
Tabel 2. Site Coefficient Fv

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Gempa MCE_R terpetakan pada periode pendek, $T = 0,1$ detik, S_1				
	$S_1 = 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1	1	1	1	1
SC	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
SD	2.4	2	1.8	1.6	1.5
SE	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
SF	$SS^{(b)}$				

Catatan :
 (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) S_S = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situr spesifik, lihat pasal 6.9.1

3. Nilai Spectral Response Acceleration, S_{Ds} untuk Site Classification adalah tanah lunak (S_E) didapatkan besarnya $S_{Ds} = 2/3 (F_a \cdot S_S)$ adalah 0,601g untuk SC, 0,657g untuk SD, 0,612g untuk SE, sedangkan untuk $S_{D1}=2/3 (F_v \cdot S_1)$ didapatkan nilai 0,3g untuk SC, 0,36g untuk SD, 0,56g untuk SE.
4. Seismic Design Category (Kategori Desain Seismik-KDS) untuk Kota Semarang untuk semua jenis pemanfaatan bangunan dan untuk semua kategori risiko diperoleh bahwa termasuk Kategori Desain Seismik D.

5. Input parameter yang diperlukan dalam penggambaran spektrum respons disain adalah : $T_0 = 0,2$ $S_{D1}/S_{Ds} = 0,11223$ sec, $T_s = S_{D1}/S_{Ds} = 0,56116$ sec, Untuk periode kurang dari T_0 maka perumusan $S_a = S_{Ds} [0.6+0.4T/T_0]$, sedangkan untuk periode lebih dari T_0 dan kurang dari T_s maka $S_a = S_{Ds}$ dan untuk periode lebih dari T_s maka perumusan $S_a = S_{D1}/T$. Hasil penggambaran spektrum respons disain ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan Respon Spektrum

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 7 terlihat bahwa respon spektrum hasil dari analisis nonlinier lapisan tanah hipotesis berada dibawah Respon Spektrum RSNI 03-1726-201X untuk site class D (tanah keras). Tetapi pada periode lebih besar dari 1 detik grafik respon spektrum dari analisis nonlinier tanah berada diatas grafik Respon Spektrum RSNI 03-1726-201X.

Maksud dari periode lebih besar dari 1 detik adalah umumnya periode getar alami suatu bangunan menengah dan tinggi. Jadi dapat disimpulkan bahwa apabila suatu lokasi di Semarang dengan karakteristik lapisan tanah mendekati karakteristik tanah hipotesa maka harus diperhatikan dalam merancang dan menganalisis bangunan menengah dan tinggi tersebut.

KESIMPULAN

Dari hasil perbandingan respon spektrum ini dapat disimpulkan bahwa diperlukan analisis respon spektrum suatu lokasi tertentu untuk memastikan bahwa hasil respon spektrum dari RSNI 03-1726-201X adalah aman dipakai untuk perhitungan analisis dan perancangan bangunan tahan gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Martin, P. and Seed, B., 1982. *One dimensional dynamic ground response analysis*. ASCE Journal Volume: 3. USA.
- Joyner, W., 1975. *Calculating Nonlinear Seismic Ground Response in Earthquakes*. BSSA, Vol 65, No.5. Page: 1315-1336. USA.
- Pyke R., 1979. *Nonlinear Soil Model for Irregular Cyclic Loadings*. Journal ASCE, Vol. 105, No. GT6.
- Satoh, T., Sado, T. and Kawase, H., 1995. *Nonlinear Behaviour of Soil Sediments Identified by Using Borehole Records*

Observed at the Ashsigaera Valley, Japan. Journal .S.S.A., Vol. 85, No.6, pp.1821-1834.

- Beresnev, I.A., and Wen, K.L., 1995. *P-Wave Amplification by Near Surface Deposits at Different Excitation Levels*. Journal B.S.S.A, Vol. 95, No. 5, pp. 1490-1494.
- Beresnev, I.A., and Wen, K.L., 1996. *The possibility of nonlinear path effects in earthquake-induced seismic wave propagation*. Journal B.S.S.A, Vol. 86, No.4, pp. 1028-1041.
- Hardin, o. and Drenevic., 1972. *Shear Modulus and Damping in Soils*. Journal ASCE, Vol. 98, No. SM7.
- Boore, D.M. and Joyner, W.B., 1993. *Estimation of Ground Motion at Deep Sites in Eastern North America*. Journal B.S.S.A, 74(5).
- Elgamal, W.A, Zeghal, M., Tang, H.T., Stepp, J.C., 1995. *Lotung Downhole Array. I: Evaluation of Site Dynamic Properties*. Journal A.S.C.E.GT4, Vol.121, April.
- Safak, E., 1995. *Discrete Time Analysis of Seismic Site Amplification*. Journal A.S.C.E, EM7, Vol.121, July.
- Safak, E., 1997. *Models and Methods to Characterize Site Amplification From a Pair of Records*. Journal Earthquake Spectra, Vol. 13, No:1, February.
- Ju, G. (et al.), 1992. *On the Characteristics of Nonlinear Soil Response*. Journal B.S.S.A, Vol. 83, No. 1, pp. 218-244, February.
- Taylor P.W. and Larkin., 1977. *Seismic Site Response of Nonlinear Soil Media*. Journal A.S.C.E, Vol.104, No.GT3, March..
- Zeghal, M., Tang, H.T., Stepp, J.C., 1995. *Lotung Downhole Array. II: Evaluation of Soil Nonlinear Properties*. Journal A.S.C.E.GT4, Vol.121, April.
- Wong, C.W, Ni, Y.Q. and Lau, S.L, 1994. *Steady State of Oscillation of Hysteretic Differential Model I; Response Analysis*. Journal A.S.C.E., EM11, Vol.120, November.

- Joyner, W., 1975. *A Method for Calculating Nonlinear Seismic Response in Two Dimensions*. Journal B.S.S.A, Vol65, No5, pp.1337-1357, October.
- Erdik, M., 1980. *Single Degree of Freedom Model for Nonlinear Soil Amplification*. Seventh World Conference on Earthquake Engineering. Istanbul, Turkey
- Uckan, E. and Erdik, M., 1994. *Impact Table Simulation of Soil Structure Interaction*. Earthquake Resistant Construction and Design Conference. Balkema, Rotterdam.
- Zhiliang, W., Qingyu, H. and Gensou, Z., 1980. *Wave Propagation Method of Site Response by Visco-elastoplastic Model*. Proceedings of the Seventh World Conference on Earthquake Engineering, Volume. 2, September
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, RSNI 03-1726-201x
- Tumilar, Steffie Prosedur Analisis Struktur Beton Akibat Gempa Menurut RSNI 03 - 1726-201X, Shortcourse HAKI, 11-12 November 2011, Semarang, Indonesia