

JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

Zonasi Hazard Gempa Bumi untuk Wilayah Jakarta

Delfebriyadi

Fakultas Teknik - Universitas Andalas, E-mail: delfebri@yahoo.co.id

Masyhur Irsyam

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung
E-mail: masyhur.irsyam@yahoo.co.id

Bigman M. Hutapea

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung
E-mail: bigmanhtp@gmail.com

Iswandi Imran

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung
E-mail: iswandiimran@gmail.com

Asrurifak

Pusat Penelitian Mitigasi Bencana Institut Teknologi Bandung
E-mail: asrurifak@gmail.com

Abstrak

Beberapa kejadian bencana gempa bumi yang melanda Indonesia dalam satu dekade ini telah dijadikan isu sangat penting yang mengharuskan pemerintah untuk memitigasi dampak bencana alam tersebut ke depan. Salah satu upaya untuk meminimalkan kerusakan dan kerugian dari bencana gempa bumi dilakukan dengan memetakan hasil pengukuran hazard gempa di suatu kawasan dengan mempertimbangkan karakteristik gempa, pengaruh geologi dan kondisi tanah lokal. Makalah ini memaparkan studi mikrozonasi di wilayah Jakarta. Analisa respons dinamik tanah dikerjakan dengan program NERA. Hasil studi yaitu peta zonasi hazard gempa bumi berdasar pendekatan yang diadopsi oleh DRM-World Institute for Disaster Risk Management.

Kata – kata Kunci: Hazard gempa, analisa respons dinamik tanah, zonasi hazard.

Abstract

Several damaging earthquakes occurred in the last decades in Indonesia have alerted the government to mitigate future damages due to earthquake. One of method to minimize the damages is by performing seismic hazard assessment and risk evaluation as the hazard zonation with respect to ground motion characteristics taking into account sources, local geological and soil conditions. This paper performs a microzonation study for Jakarta. Local site effects are assessed by carrying out ground response analysis performed with the NERA routines. The zonation maps are produced with respect to ground shaking intensity in accordance with the manual proposed by World Institute for Disaster Risk Management.

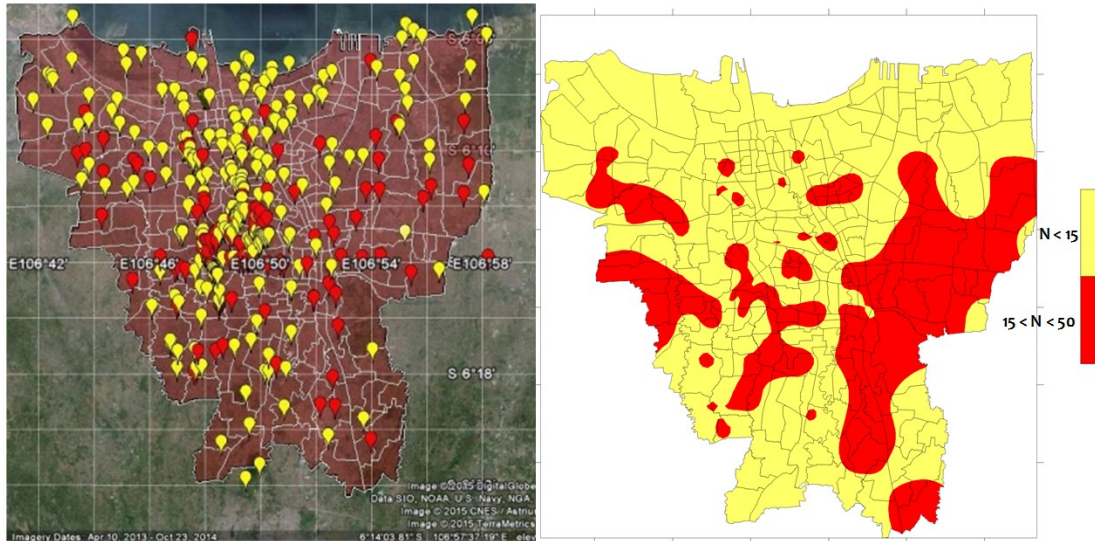
Keywords: Seismic hazard, ground response analysis, hazard zonation.

1. Pendahuluan

Selain memiliki populasi penduduk yang sangat tinggi, Jakarta merupakan pusat perekonomian dan pemerintahan dengan berbagai infrastruktur vital sebagai penunjang aktivitasnya yang rentan terhadap kerusakan oleh gempa. Dari studi-studi yang ada, dipaparkan bahwa Jakarta berada di atas cekungan deposit kuarter. Aktifitas kegempaan dipengaruhi oleh zona subduksi *Sunda Arc* dan zona patahan pada kerak dangkal (*shallow crustal*). Terdapat 3 patahan besar di sekitar kota Jakarta yaitu patahan Semangko, patahan Cimandiri, dan patahan Lembang (Irsyam, *et al.*, 2010).

Kejadian gempa Loma Prieta 17 Oktober 1989 telah memberikan pelajaran penting akan bentuk kerusakan akibat gempa yang berkaitan dengan karakteristik

goncangan seperti amplitudo, kandungan frekuensi dan durasi gempa yang dirasakan di permukaan tanah. Sebagian besar kerusakan akibat kejadian gempa tersebut, terutama di daerah teluk San Francisco, terjadi di kawasan yang didominasi oleh deposit tanah lempung lunak yang tebal. Peristiwa itu secara jelas memperlihatkan bahwa dalam studi *hazard* gempa harus dipertimbangkan pengaruh kondisi deposit tanah lokal untuk melihat secara detail perilaku respons dinamik tanah akibat gempa. Dari studi yang dilakukan Irsyam, *et al.* (2014) ditunjukkan bahwa wilayah kota Jakarta secara dominan terbagi atas 2 kelas tanah yaitu kelas *soft soil* dan kelas *medium soil* yang didefinisikan berdasarkan klasifikasi menurut standar *NEHRP* (BSSC, 2001). Hal ini juga sesuai dengan hasil interpretasi dengan menggunakan standar SNI-1726-2012 dari data sekunder yang dilakukan pada 378 lokasi penyelidikan tanah lapangan yang disertai *Standard*



Gambar 1. Sebaran lokasi penyelidikan tanah (simbol balon) dan kontur kelas tanah menggunakan standar SNI-1726-2012 (warna merah mewakili kelas SD, warna kuning mewakili kelas SE)

Penetration Test (SPT) yang tersebar di wilayah Jakarta dengan kedalaman bor mencapai 30 m hingga 60 m.

Makalah ini memaparkan studi mikrozonasi *hazard* gempa di wilayah Jakarta. Studi ini menjelaskan beberapa karakteristik guncangan gempa dan pengaruh dari kondisi deposit tanah lokal untuk menghasilkan suatu peta mikrozonasi yang realistis sehubungan dengan intensitas guncangan gempa di permukaan. Pada kasus ini, analisis respons spesifik-situs digunakan untuk keperluan tersebut.

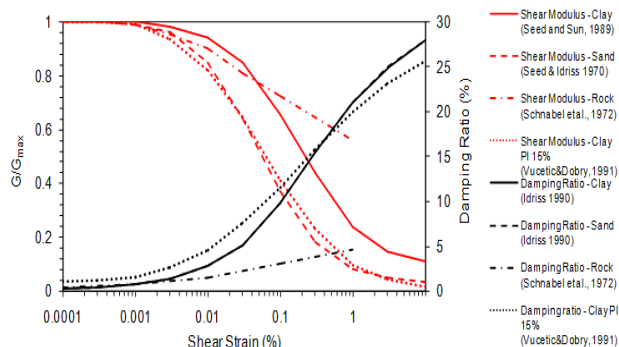
2. Metodologi

Pada studi ini, diamati sensitifitas *hazard* gempa bumi akibat variasi input nilai parameter dalam analisa respons dinamik tanah dan dikonstruksi peta zonasi *hazard* gempa bumi berdasarkan pembagian zona seismik menurut nilai *hazard* relatif seperti yang diajukan oleh DRM-World Institute for Disaster Risk Management (2004). Definisi dari zona-zona itu dihubungkan pada nilai rata-rata aritmatik spektral percepatan di bentang periode spektral 0,5 detik hingga 1,5 detik dari respons spektra *geometric mean* di permukaan tanah yang ditentukan dari analisis respons spesifik situs yang akan dikelompokkan menurut distribusi frekuensi nilai-nilai spektral percepatan yang berada dalam wilayah kajian. Nilai rata-rata aritmatik dari bentang periode spektral tersebut dipilih sebagai alternatif dari pemakaian nilai percepatan maksimum (PSA) dalam parameter pembuatan peta *hazard* untuk merefleksikan keragaman kandungan frekuensi dari guncangan.

Merujuk pada manual di atas, zonasi seismik akan merepresentasikan *hazard* relatif dari semua *grid* di wilayah yang diselidiki. Dalam pendekatan ini, frekuensi dari nilai rata-rata aritmatik spektral percepatan yang dihitung akan digunakan untuk mendapatkan nilai-nilai 33 persentil dan 67 persentil untuk dipakai sebagai nilai-nilai batas di antara 3 zona

pada peta zonasi seismik tersebut. Tiga zona dapat didefinisikan apabila nilai-nilai batas antara zona tertinggi (67 persentil) bernilai lebih besar dari 1,3 kali nilai batas yang digunakan pada zona terendah (33 persentil). Apabila kondisi tersebut tidak tercapai maka dianjurkan untuk mendefinisikan hanya 2 zona dengan menggunakan nilai 50 persentil sebagai batas.

Nilai rata-rata aritmatik spektral percepatan di permukaan tanah diamati dari hasil analisa respons dinamik tanah pada kolom-kolom tanah hasil kompilasi data-data geoteknik di 378 situs dengan menggunakan program NERA (Bardet dan Tobita, 2001) yang berdasarkan teori penjalaran gelombang geser 1-dimensi. Pada analisa penjalaran gelombang dibutuhkan parameter dari input guncangan, pemodelan kolom tanah, massa tanah, kekakuan dan rasio *damping* tanah dalam proses perhitungannya. Kurva reduksi modulus dan rasio *damping* yang disediakan oleh NERA digunakan dalam sebagai input dalam analisis Gambar 2. Kurva tersebut adalah 3 tipe tanah yang dipublikasikan oleh Seed dan Sun (1989) dan Idriss (1990) untuk lempung; kurva reduksi modulus dan rasio *damping* untuk pasir yang diajukan oleh Seed dan Idriss (1970) dan Idriss (1990); dan kurva reduksi modulus dan rasio *damping* untuk batuan yang diajukan oleh Schnabel, et al. (1972).

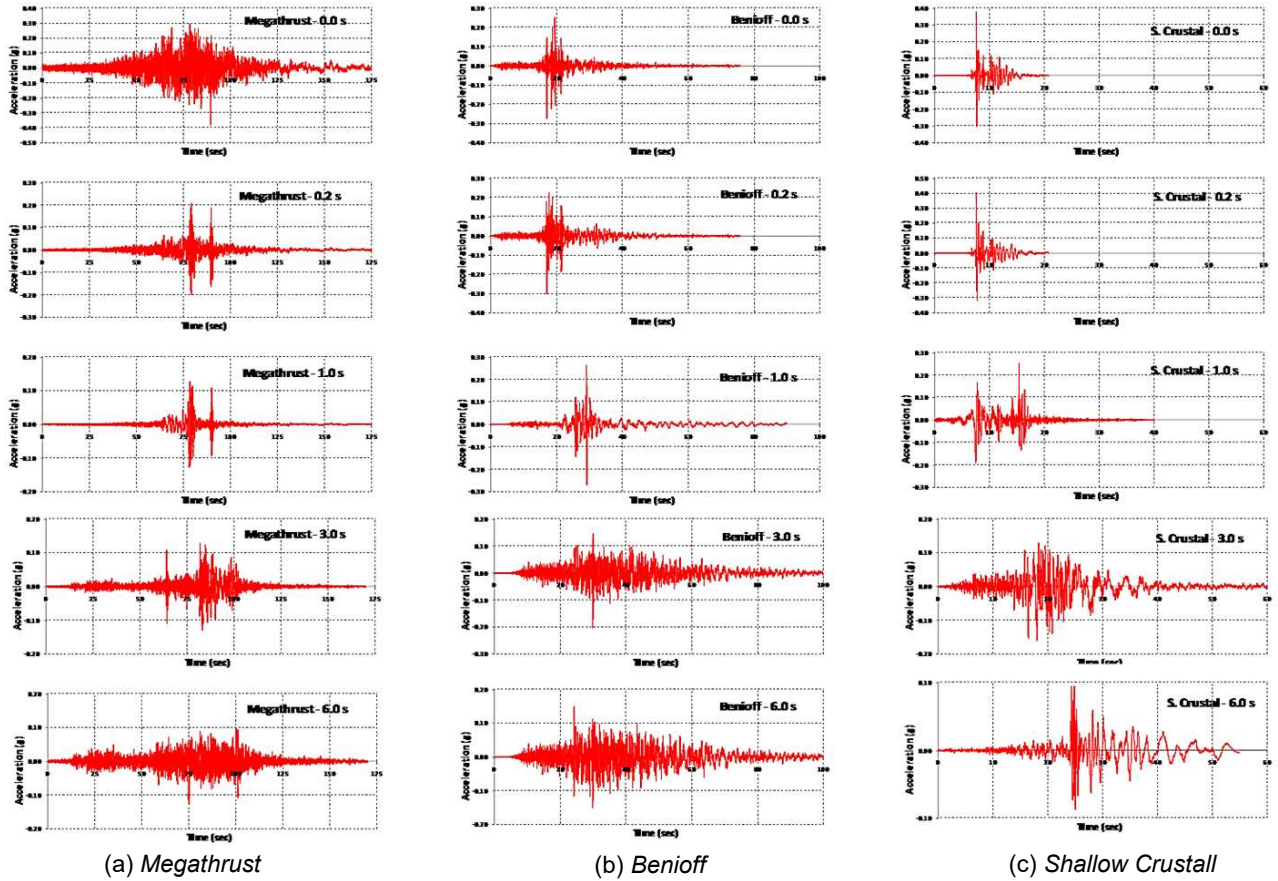


Gambar 2. Plot kurva reduksi modulus geser dan rasio *damping* dari masing-masing referensi

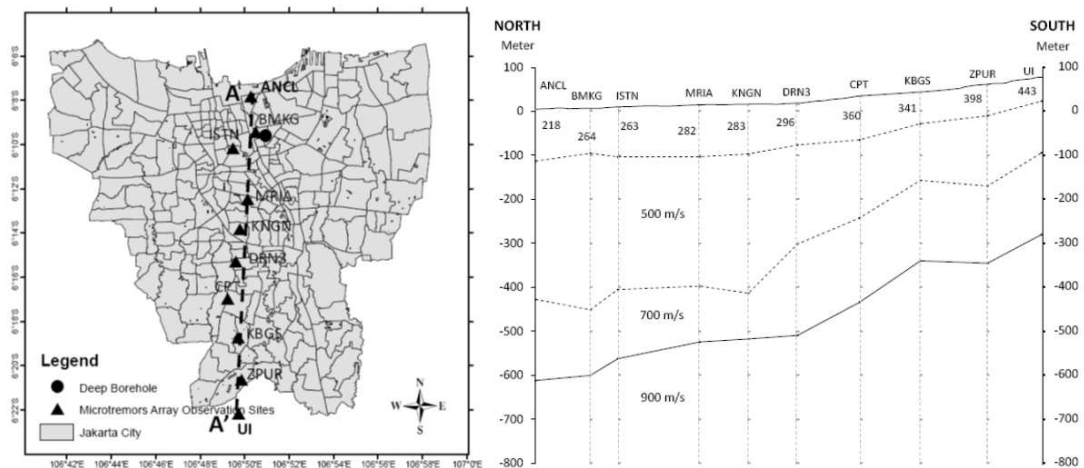
Untuk digunakan sebagai *input* guncangan pada analisis, data rekaman riwayat waktu percepatan gempa termodifikasi di batuan dasar kota Jakarta dikonstruksi berdasarkan gempa skenario hasil penskalaan dari deagregasi *seismic hazard* untuk periode ulang gempa desain 2500 tahun seperti yang dirujuk SNI-1726-2012. Rekaman riwayat waktu percepatan gempa termodifikasi tersebut diambil dari studi kami tersendiri dan mewakili mekanisme gempa *megathrust*, *benioff* dan *shallow crustal* seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.

Kedalaman batuan dasar di wilayah Jakarta diambil dari hasil studi mikrotremor (Ridwan, *et al.*, 2014) yang mengaplikasikan *microtremor array* di beberapa lokasi di Jakarta untuk memperoleh profil kecepatan gelombang geser Gambar 4. Dari hasil studi itu diperkirakan kedalaman batuan dasar di wilayah Jakarta pada 200 m hingga 480 m.

Studi sensitifitas *hazard* pada tanah lokal dilakukan pada 2 situs terpilih yang mewakili kelas tanah lunak dan sedang dengan kedalaman *boring* mencapai 40 m

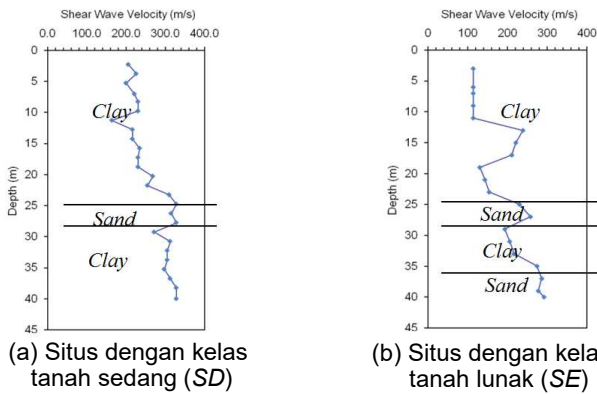


Gambar 3. Lima belas riwayat waktu percepatan gempa termodifikasi di batuan dasar kota Jakarta dengan periode ulang 2500 tahun untuk mekanisme gempa *megathrust*, *benioff* dan *shallow crustal*



Gambar 4. Hasil studi dari penggunaan *microtremor array* untuk mengestimasi profil kecepatan gelombang geser di kota Jakarta (Ridwan, *et al.*, 2014)

dan elevasi batuan dasar diperkirakan 500 m **Gambar 5**. Profil nilai kecepatan gelombang geser mulai dari ujung pengeboran sampai dengan batuan dasar akan diperkirakan dengan cara ekstrapolasi secara proporsional.



(a) Situs dengan kelas tanah sedang (SD) (b) Situs dengan kelas tanah lunak (SE)

Gambar 5. Profil nilai kecepatan gelombang geser dan kelas tanah pada situs terpilih

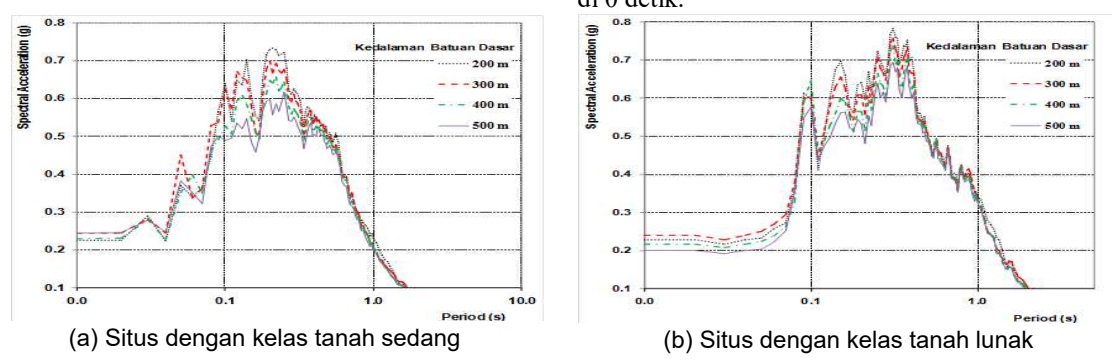
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sensitifitas hazard pada tanah lokal Jakarta akibat perubahan nilai parameter dalam analisa penjalaran gelombang 1-D

a. Pengaruh lokasi batuan dasar terhadap respons spektra di permukaan

Untuk mengetahui pengaruh guncangan, ditentukan riwayat waktu percepatan yang digunakan sebagai input guncangan pada batuan dasar yaitu riwayat waktu percepatan dari penskalaan di 0 detik untuk mekanisme gempa *benioff*. Ketebalan sub-lapisan tanah pada lapisan yang diekstrapolasi dipilih setebal 3 m. Profil kecepatan gelombang geser kolom tanah pada deposit ditunjukkan oleh **Gambar 5**. Kurva reduksi modulus dan *damping* yang digunakan adalah kurva *default* yang disediakan perangkat lunak *NERA*. Elevasi batuan dasar divariasikan dengan kedalaman 200 m, 300 m, 400 m, dan 500 m.

Hasil analisa ditampilkan dalam bentuk grafik respons spektra yang diperlihatkan pada **Gambar 6**. Berdasarkan pengamatan pada grafik-grafik tersebut, spektral percepatan di permukaan tanah dari tiap riwayat waktu percepatan akan cenderung memiliki nilai amplitudo yang lebih besar seiring dengan bertambah dangkalnya elevasi batuan dasar. Elevasi batuan dasar yang lebih



(a) Situs dengan kelas tanah sedang (b) Situs dengan kelas tanah lunak

Gambar 6. Spektral percepatan di permukaan untuk riwayat waktu percepatan mekanisme gempa benioff di penskalaan di 0 detik di berbagai variasi kedalaman batuan dasar

dalam akan mengakibatkan jarak penjalaran gelombang gempa menjadi lebih jauh dan energi gelombang yang berfrekuensi tinggi yang diserap deposit tanah menjadi lebih besar. Sehingga intensitas guncangan di permukaan tanah menjadi lebih kecil.

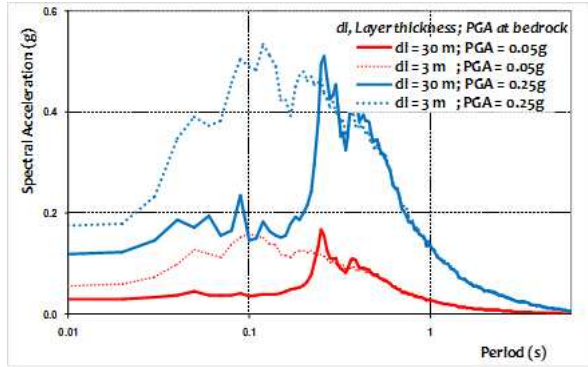
b. Pengaruh percepatan puncak (PGA) di batuan dasar dan ketebalan sub-lapisan pada lapisan ekstrapolasi terhadap respons spektra di permukaan

Untuk mengamati pengaruh percepatan puncak (PGA) di batuan dasar terhadap respons spektra di permukaan, *input* nilai PGA di batuan dasar untuk mekanisme gempa *benioff* diskalakan di 0,05g untuk mewakili riwayat waktu dengan PGA kecil dan 0,25g untuk mewakili riwayat waktu dengan PGA besar. Elevasi batuan dasar diambil pada kedalaman 500 m. Sub-lapisan tanah pada lapisan yang diekstrapolasi juga divariasikan nilai ketebalannya (*di*) sebesar 3 m, dan 30 m. Digunakan kurva reduksi modulus geser *default* yang disediakan perangkat lunak *NERA*.

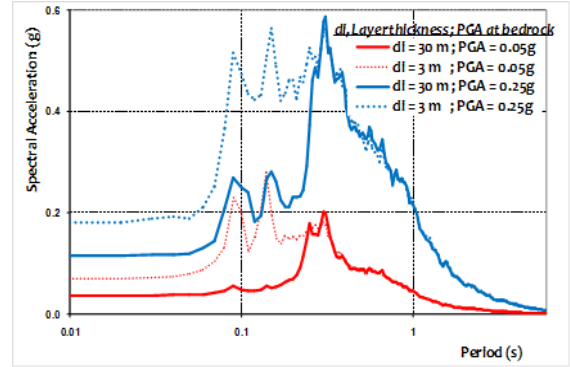
Pada pengamatan **Gambar 7**, spektral percepatan di permukaan tanah dari tiap riwayat waktu percepatan akan cenderung memiliki nilai amplitudo yang lebih besar di sepanjang periode spektralnya seiring dengan bertambah besarnya nilai *PGA* di batuan dasar. Dari beberapa variasi ketebalan sub-lapisan pada lapisan ekstrapolasi dapat ditunjukkan bahwa respons yang dihasilkan sensitif terhadap perubahan pemakaian ketebalan sub-lapisan. Hasil analisa *NERA* memberikan waktu penyelesaian analisa (*running program*) yang lebih lama dan nilai respons yang lebih besar di periode pendek untuk pemakaian ketebalan sub-lapisan 3 m. Ini memperlihatkan bahwa semakin besar ketebalan sub-lapisan maka akan memberikan nilai frekuensi fundamental yang semakin kecil.

c. Pengaruh referensi kurva reduksi modulus geser dan rasio damping

Kurva reduksi modulus geser yang diajukan Vucetic dan Dobry (1991) untuk tanah lempung dengan Indeks Plastisitas (IP) 15% dan kurva reduksi modulus geser *default* yang disediakan *NERA* digunakan sebagai *input* analisis. Elevasi batuan dasar diambil pada kedalaman 500 m. Ketebalan sub-lapisan tanah pada lapisan yang diekstrapolasi dipilih setebal 3 m. Riwayat waktu percepatan yang digunakan sebagai input guncangan pada batuan dasar adalah mekanisme gempa *benioff* dari penskalaan di 0 detik.



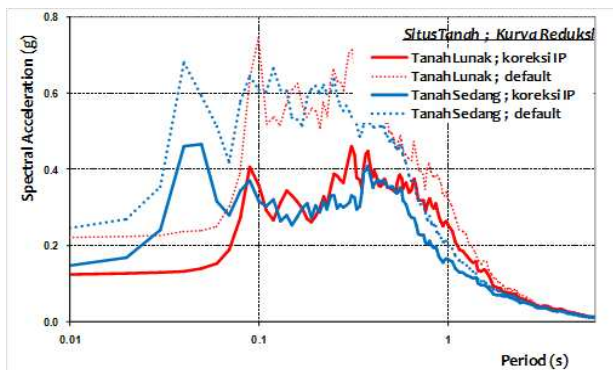
(a) Situs dengan kelas tanah sedang



(b) Situs dengan kelas tanah lunak

Gambar 7. Respons spektra percepatan di permukaan dari riwayat waktu percepatan untuk mekanisme gempa benioff yang diskalakan dan variasi penggunaan ketebalan sub-lapisan pada lapisan yang diekstrapolasi

Pada pengamatan **Gambar 8**, spektral percepatan di permukaan tanah cenderung mengalami perubahan nilai amplitudo sebagai respons dari pengaruh nilai kekakuan tanah yang direpresentasikan oleh kurva reduksi modulus geser dan rasio *damping* yang dipakai untuk analisis pada profil tanah uji. Nilai amplitudo dari spektrum percepatan terlihat bernilai lebih kecil pada penggunaan kurva reduksi modulus geser dan rasio *damping* yang mempertimbangkan plastisitas tanah, yang mengindikasikan nilai *damping* yang dimiliki oleh profil lapisan tanah tersebut menjadi relatif lebih besar dibandingkan dengan kondisi dengan penggunaan kurva *default* yang disediakan perangkat lunak *NERA*. Kolom tanah dengan nilai *damping* lebih besar akan mengakibatkan energi gempa yang diserap deposit tanah adalah lebih besar. Sehingga intensitas guncangan di permukaan tanah menjadi lebih kecil.

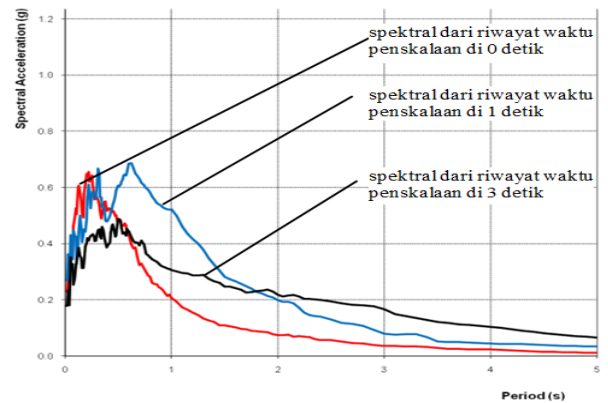


Gambar 8. Respons spektra percepatan di permukaan dari riwayat waktu percepatan untuk mekanisme gempa benioff di penskalaan di 0 detik dan variasi penggunaan kurva reduksi modulus geser dan rasio *damping*

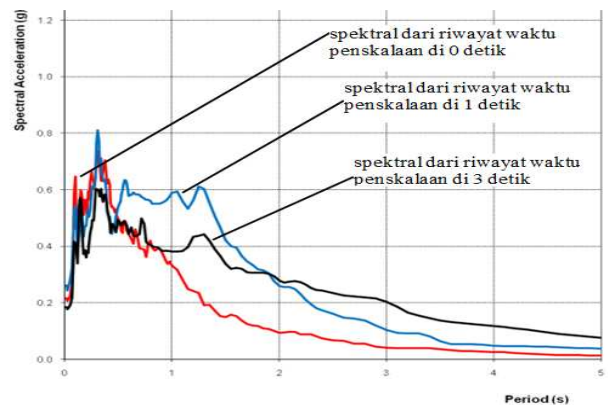
d. Pengaruh riwayat waktu yang diskalakan di periode spektral terhadap respons spektra di permukaan

Untuk mengetahui pengaruh penskalaan riwayat waktu percepatan di berbagai periode spektral terhadap respons spektra di permukaan, dipilih riwayat waktu percepatan untuk mekanisme gempa *benioff* hasil penskalaan di periode 0 detik, 1 detik dan 3 detik yang digunakan sebagai input guncangan pada batuan dasar. Ketebalan sub-lapisan tanah pada lapisan yang diekstrapolasi dipilih setebal 3 m. Kurva reduksi modulus dan rasio *damping* yang digunakan adalah kurva *default* yang disediakan perangkat lunak *NERA*.

Spektral percepatan di permukaan tanah hasil analisis untuk kedalaman elevasi batuan dasar pada 400 m ditampilkan pada **Gambar 9**. Dari pengamatan di periode spektral 0 detik, riwayat waktu percepatan dari penskalaan di 0 detik memiliki amplitudo spektral yang lebih tinggi dibandingkan amplitudo spektral untuk riwayat waktu percepatan dari penskalaan di 1 detik maupun 3 detik. Begitu pula di periode spektral 1 detik maupun 3 detik, riwayat waktu percepatan dari penskalaan di periode spektral tersebut akan memiliki amplitudo spektral yang tertinggi di periode penskalaannya.



(a) Situs dengan kelas tanah sedang

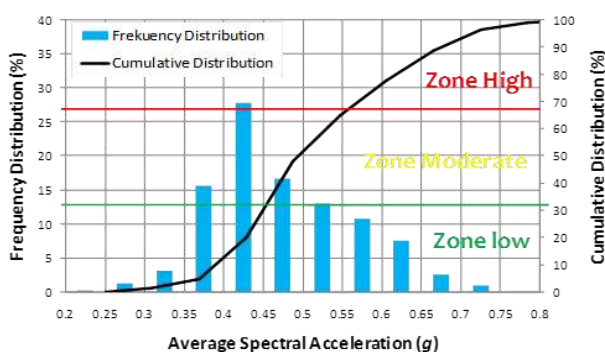


(b) Situs dengan kelas tanah lunak

Gambar 9. Spektral percepatan di permukaan tanah hasil input riwayat waktu percepatan dari penskalaan di 0, 1 dan 3 detik untuk mekanisme gempa benioff periode ulang 2500 tahun

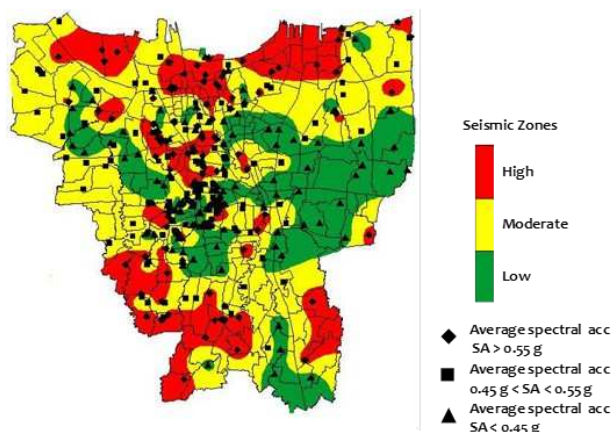
3.2 Zonasi hazard untuk wilayah kajian

Pada studi ini, 15 rekaman riwayat waktu percepatan gempa termodifikasi digunakan sebagai *input* analisa respons dinamik tanah pada 378 situs dengan propertis dinamik tanah yang didapat dari hasil interpretasi penyelidikan tanah. Analisa respons dinamik tanah di setiap situs akan menghasilkan nilai rata-rata aritmatik spektral percepatan di bentang periode spektral 0,5 detik hingga 1,5 detik dari setiap respons spektra *geometric mean* di permukaan tanah. Kemudian dilakukan pengelompokan menurut distribusi frekuensi nilai rata-rata spektral percepatan yang berada dalam wilayah kajian. Akan didefinisikan 3 zona wilayah yang akan dipakai pada peta zonasi *hazard* Gambar 10.



Gambar 10. Distribusi frekuensi nilai rata-rata spektral percepatan dan pengelompokan zonasi hazard

Berdasarkan studi sensitifitas *hazard* pada tanah lokal Jakarta yang telah dilakukan sebelumnya, maka pada semua situs dipilih penggunaan ketebalan sub-lapisan tanah pada lapisan yang diekstrapolasi setebal 3 m dan digunakan kurva reduksi modulus geser *default* yang disediakan *NERA*. Variasi kedalaman batuan dasar di semua situs diperkirakan dari hasil studi mikrotremor dengan menetapkan profil kecepatan gelombang geser sebesar 760 m/detik Gambar 4. Dari hasil analisis akan diperoleh nilai rata-rata aritmatik spektral percepatan (*SA*) pada bentang periode spektral 0,5 detik hingga 1,5 detik dari respons spektra *geometric mean* di permukaan tanah. Nilai rata-rata aritmatik spektral percepatan tersebut bervariasi mulai 0,25g hingga 0,84g. Kemudian, berdasarkan distribusi frekuensi nilai rata-rata spektral percepatan tersebut dihitung nilai-nilai 33 persentil dan 67 persentil yang akan dipakai sebagai nilai-nilai batas di antara 3 zona pada peta zonasi. Nilai 33 persentil dan 67 persentil adalah berturut-turut sebesar 0,45g dan 0,55g. Sehingga semua situs dengan nilai rata-rata aritmatik spektral percepatan di permukaan yang bernilai lebih dari 0,55g dikategorikan sebagai zona dengan nilai spektral percepatan tinggi (*zone high*), situs dengan nilai rata-rata aritmatik spektral percepatan di permukaan yang bernilai kurang dari 0,45g dikategorikan sebagai zona dengan nilai spektral percepatan rendah (*zone low*), dan zona dengan nilai spektral percepatan sedang (*zone moderate*) berada di antara nilai batas kedua zona tersebut (di dalam bentang 0,45g hingga 0,55g. Kontur dari hasil perhitungan yang telah dilakukan diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Zonasi hazard gempa bumi berdasarkan nilai rata-rata aritmatik spektral percepatan di permukaan tanah di bentang periode 0,5 hingga 1,5 detik untuk periode ulang gempa 2500 tahun

4. Kesimpulan

Dari hasil interpretasi menggunakan standar SNI-1726-2012 yang dilakukan pada 378 lokasi penyelidikan tanah lapangan, ditunjukkan bahwa wilayah kota Jakarta secara dominan terbagi atas 2 kelas tanah yaitu situs dengan kelas tanah sedang (SD) dan kelas tanah lunak (SE). Berdasarkan hasil studi yang telah dilakukan pada kasus tanah lokal Jakarta melalui pengamatan respons spektral di permukaan tanah dapat diketahui bahwa :

1. Kelas tanah pada suatu situs mempengaruhi kandungan frekuensi gelombang gempa di permukaan.
2. Riwayat waktu percepatan di batuan dasar dari penskalaan di periode spectral tertentu akan menghasilkan respons dengan amplitudo spectral tertinggi di periode penskalaannya.
3. Dengan bertambah besarnya nilai plastisitas pada lapisan yang diekstrapolasi nilai kecepatan gelombang gesernya, maka respons percepatan di permukaan tanah cenderung akan memiliki nilai amplitudo yang lebih besar.
4. Respons percepatan di permukaan tanah cenderung mengalami peningkatan amplitudo yang signifikan di periode pendeknya seiring dengan berkurangnya ketebalan sub-lapisan pada analisa dinamik di lapisan yang diekstrapolasi nilai kecepatan gelombang gesernya.
5. Perilaku non linear tegangan-regangan pada tanah adalah parameter yang sangat dominan mengontrol respons goncangan gempa. Untuk kasus perhitungan respons spesifik situs pada studi ini, penggunaan kurva reduksi modulus geser dan rasio *damping* yang secara *default* disediakan program *NERA* cenderung mengurangi nilai *damping* pada profil kolom tanah. Gelombang gempa akan lebih leluasa menjalar akibat energi gempa yang diserap adalah lebih kecil. Sehingga intensitas goncangan di permukaan tanah menjadi lebih besar.

6. Berdasarkan 15 rekaman riwayat waktu percepatan gempa termodifikasi di batuan dasar yang digunakan sebagai *input* analisa dinamik tanah didapatkan nilai rata-rata aritmatik spektral percepatan di permukaan tanah bervariasi mulai 0,25g hingga 0,84g. Nilai 33 persentil sebesar 0,45g dan nilai 67 persentil sebesar 0,55g dipakai sebagai nilai-nilai batas zonasi seismik. Sehingga pada wilayah Jakarta digunakan 3 zona seismik untuk peta zonasi *hazard* gempa bumi dengan periode ulang 2500 tahun berdasar nilai rata-rata aritmatik spektral percepatan di bentang periode 0,5 hingga 1,5 detik.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pemda DKI Jakarta untuk data sekunder berupa data penyelidikan tanah lapangan; *booring* yang disertai *Standard Penetration Test* (SPT).

Daftar Pustaka

Bardet, J.P., dan Tobita, T., 2001, NERA, A Computer Program for Nonlinear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits, *Departement of Civil Engineering USC, LA.*

BSSC - Building Seismic Safety Council, 2001, NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for new buildings and other structures, 2000 Edition, Part 1: Provisions (FEMA 368), CH.4, Washington.

DRM-World Institute for Disaster Risk Management, 2004, Seismic Microzonation for Municipalities Manual, General Directorate of Disaster Affairs, Republic of Turkey Ministry of Public Works and Settlement.

Idriss, I.M., 1990, Response of Soft Soil Sites During Earthquakes, *Proceedings of the Memorial Symposium to Honor Professor Harry Bolton Seed*, University of California, Berkeley, (2) 273-290.

Irsyam, M., Sengara, I.W., Asrurifak, M., Ridwan, M., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Natawijaya, D.H., Kertapati, E., Meilano, I. dan Suhardjono, 2010, Summary: Development of Hazard Maps of Indonesia for Revision of Seismic Hazard Map in SNI 03-1726-2002, reseach report submitted to the Ministry of Public Works.

Irsyam, M., Hutabarat, D., Asrurifak, M., Imran, I., Widiyantoro, S., Hendriyawan, Sadisun, I., Hutapea, B., Afriansyah, T., Pindratno, H., Firmanti, A., Ridwan, M., Haridjono, S.W., dan Pandhu, R., 2014, Development of Seismic Risk Microzonation Maps of Jakarta City, *4th International Conference on GEDMAR*, Kyoto.

Ridwan, M., Afnimar, Widiyantoro, S., Irsyam, M., dan Yamanaka, H., 2014, Estimation of S-wave

Velocity Structures by Using Microtremor Array Measurements for Subsurface Modeling in Jakarta, *Journal of Math. Fund. Sci.*, ITB, (46) 313-327.

Schnabel, P.B., Lysmer, J., dan Seed, H.B., 1972, SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites, *University of California*, EERC Reports No. UCB/EERC-72/12.

Seed, H.B., dan Sun, J.I., 1989, Implications of Site Effects in The Mexico City Earthquake of Sept. 19, 1985 for Earthquake-Resistant Design Criteria in San Francisco Bay Area of California, *University of California*, EERC Reports UCB/EERC-89-03.

Seed, H.B., dan Idriss, I.M., 1970, Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses, *University of California*, EERC Reports No. EERC 70-10.

SNI 1726-2012, 2012, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, *Badan Standarisasi Nasional*, Jakarta.

Vucetic, M., dan Dobry, R., 1991, Effect of soil plasticity on cyclic response, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 117-1, 89-107.

