

ANALISIS *SITE SPECIFIC RESPONSE SPECTRA* GEMPA BERDASARKAN PARAMETER DINAMIS TANAH UNTUK WILAYAH CILEGON

Enden Mina¹⁾, Rama Indera Kusuma²⁾

^{1,2)} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman Km.3 Cilegon 42435.

E-mail : endenmina@yahoo.com, rama_sipil@yahoo.co.id

ABSTRAK

Prediksi *site specific response* gempa suatu daerah lokal merupakan langkah penting dalam mengestimasi pengaruh gempa. Kondisi tanah lokal mempengaruhi karakteristik gelombang gempa yang datang merambat selama terjadi gempa. Umumnya data tanah yang digunakan dalam analisis respon tanah terhadap gempa menggunakan hasil uji geoteknik Standard Penetration Test (SPT) berupa nilai N (pukulan *Hammer*) yang dikorelasikan dengan parameter dinamis tanah seperti kecepatan gelombang geser (V_s) atau maksimum modulus geser (G_{maks}). Untuk mendapatkan *Site specific response spectra* wilayah Cilegon diperlukan Pengumpulan data gempa yang dapat mewakili kejadian gempa di wilayah Cilegon dengan periode ulang 500 tahun serta data teknistanah baik fisik maupun mekanis dan uji SPT tanah. Hasil yang ingin didapatkan dari *Site specific response spectra* untuk wilayah Cilegon dapat memberikan input untuk melengkapi data percepatan gempa di lokasi ini untuk desain rencana bangunan yang mempertimbangkan aspek kegempaan.

Kata kunci : *response spectra* gempa, SPT, Kecepatan gelombang geser .

ABSTRACT

Prediction of earth quake site specific response of alocalareais an important step in estimating the effect of the earth quake. Local soil conditions affect the characteristics of the seismic waves that propagate during an earth quake coming. Generally soil data that is used in the analysis of the seismic response of soil using geo technical test results Standard Penetration Test (SPT) in the form N values (Hammer blow) which is correlated with soil dynamic parameters such as shear wave velocity (V_s) or maximum shear modulus (G_{maks}). For the Site specific response spectrain Cilegon area, it is required seismic data collection that could represent earth quakes in Cilegon area with areturn period of 500 years and technical soil data as well as both physical and mechanical soil data and SPT test results. The results of the Site specific response spectra for Cilegon area is expected could provide input to complete these is micacceleration data in this location for the design of the building plan that considers aspects of seismicity.

Keywords: *seismic response spectra, SPT, shear wave velocity.*

1. PENDAHULUAN

Saat ini perencanaan bangunan di Indonesia telah mempertimbangkan aspek kegempaan. Hal tersebut dikarenakan letak wilayah Indonesia berada pada pertemuan empat lempeng tektonik (Lempeng Asia, Australia, Pasifik, dan Philipina) yang menyebabkannya rawan terhadap gempa. Perencanaan bangunan khususnya bangunan tinggi tanpa mempertimbangkan beban gempa beresiko menimbulkan kerugian secara moril dan material yang cukup besar. Beban gempa dinyatakan dengan faktor percepatan gempa yang ditentukan baik dengan pengukuran langsung maupun tidak langsung. Untuk

memperoleh nilai percepatan gempa maksimum yang sesuai dengan lokasi yang ditinjau diperlukan analisis respon spektra gempa yang dapat dilakukan melalui proses analisis rambatan gelombang gempa.

Kondisi tanah lokal mempengaruhi karakteristik gelombang gempa yang datang merambat selama terjadi gempa. Umumnya parameter dinamik tanah yang digunakan dalam analisis respon tanah adalah kecepatan gelombang geser dan modulus gesernya. Parameter tersebut dapat dicari dengan mengukur kecepatan secara langsung di lapangan atau dengan menggunakan hasil uji geoteknik lapangan seperti Standard Penetration

Test (SPT) berupa nilai N (pukulan Palu) yang dikorelasikan dengan parameter dinamis tanah seperti kecepatan gelombang geser (V_s) atau maksimum modulus geser (G_{maks}).

Cilegon merupakan suatu daerah yang berdekatan dengan pantai dan memiliki probabilitas kejadian gempa yang cukup tinggi. Dengan membuat *site response spectra* untuk wilayah Cilegon diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih lengkap tentang respon percepatan gempa yang terjadi untuk lokasi ini. Data parameter dinamis tanah yang digunakan dalam analisis respon permukaan tanah pada umumnya diambil dengan membuat korelasi V_s atau G_{maks} dengan nilai N dari uji SPT di lapangan atau dengan penentuan V_s dari survei secara langsung dari lapangan.

Analisis respon spektra permukaan untuk wilayah lokal telah dilakukan di Jakarta Pusat (Desyanti, 2009) dan Suralaya di Banten (Delfebryadi, 2009). Anbazaghan dkk (2007) melakukan analisis respon spektra untuk lokasi di bagian selatan Bandara Internasional kota Bangalore India dengan menggunakan Data N_{60} SPT dan data survei lapangan *Multichannel analysis Surface waves* (MASW) yang menghasilkan suatu korelasi antara G_{maks} dari MASW dan N_{60} dari uji SPT.

2. LANDASAN TEORI

Intensitas gempa yang terjadi pada suatu lokasi tertentu dapat diperkirakan dengan kajian beberapa kejadian gempa yang paling dominan terjadi pada lokasi tersebut menurut periode tertentu. Studi penting lainnya adalah analisis tentang perambatan gelombang gempa melalui lapisan-lapisan tanah tertentu ke permukaan untuk memperoleh respon tanah terhadap gempa di permukaan.

Identifikasi sumber gempa dilakukan dengan mengetahui notasi titik kejadian gempa, lokasi gempa, intensitas dan *magnitude* gempa. Notasi gempa ditentukan dengan mencari jarak epicenter dan jarak hypocenter. Jarak epicenter adalah jarak antara titik gempa pertama kali terjadi pada suatu lokasi (*hypocenter point*) dengan titik di permukaan tanahnya (*epicenter point*). Jarak epicenter ditentukan dengan menggunakan hasil pencatatan gelombang $-p$ dan gelombang-s gempa dari alat pencatat

gempa yang paling dekat dengan lokasi epicenter. Lokasi epicenter ditentukan dengan mencari titik potong radius lingkaran dari minimal tiga titik pencatat gempa yang berdekatan.

A. Pembuatan Motion Gempa Sintetik

Pembuatan gempa sintetik diperlukan karena tidak adanya data riwayat waktu percepatan gempa di batuan dasar untuk wilayah Indonesia. Data motion gempa sintetik adalah pembuatan data riwayat waktu percepatan di batuan dasar dengan menggunakan data riwayat waktu percepatan gempa tercatat yang alami yang mendekati kejadian gempa suatu lokasi dengan menskalakannya dengan respon spektra lokasi tersebut. Cara-cara yang digunakan untuk membuat *motion* gempa sintetik adalah sebagai berikut:

- 1) Menggunakan data digitasi gempa yang memiliki kondisi geologi dan seismologi yang sesuai dengan daerah yang ditinjau
- 2) Menggunakan data digitasi dari daerah lain yang diskalakan dan disesuaikan dengan daerah yang ditinjau.
- 3) Membuat data digitasi yang disesuaikan dengan respon spektra desain atau *spectral density function*.

B. Analisis Respon Permukaan Tanah dan Pengembangan Respon Spektra Permukaan

Dengan menggunakan riwayat waktu pada batuan, analisis respon permukaan dilakukan dengan model profil tanah untuk mendapatkan gerakan pada permukaan. Analisis non linier respon tanah diperkirakan dengan menggunakan metoda analisis linier ekuivalen (seperti program SHAKE) atau dengan cara analisis non linier (seperti program NERA). Analisis parametrik dilakukan untuk mengakomodasi ketaktentuan sifat dinamis tanah. Analisis biasanya dibuat dengan estimasi terbaik (rata-rata) batas atas dan batas bawah sifat tanah. Respon sepektra permukaan dihitung dengan berbagai analisis. Respon spektra ini akan dianalisa secara statistik atau dikembangkan untuk mendapatkan respon spektra permukaan rencana. Riwayat waktu yang diperoleh dari analisis respon tanah dapat digunakan sebagai riwayat waktu permukaan. Karena input respon spektra batuan mungkin tidak mendekati respon spektra desain

batuan (khususnya bila menggunakan riwayat waktu alami), dianjurkan untuk mendapatkan rasio amplifikasi dari analisis respon permukaan terhadap respon spektra dari hasil perhitungan gerakan permukaan secara langsung. Rasio amplifikasi adalah rasio respon spektra pada permukaan tanah yang dihitung dari analisis respon permukaan dibagi respon spektra yang berkaitan dengan input gerakan batuan. Analisis statistika dapat dibuat dengan rasio amplifikasi atau beberapa metoda lain. Estimasi respon spektra pada permukaan tanah kemudian diperoleh dengan mengalikan rasio amplifikasi dengan respon spektra di semua rentang periodanya. Respon spektra desain kemudian dikembangkan dengan memperhalus bentuk respon spektra permukaan estimasi seperti yang diinginkan. Riwayat waktu respon permukaan dapat digunakan langsung untuk mewakili gerakan permukaan atau dengan menggunakan riwayat waktu sintetik yang dikembangkan sesuai dengan desain respon spektra permukaan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

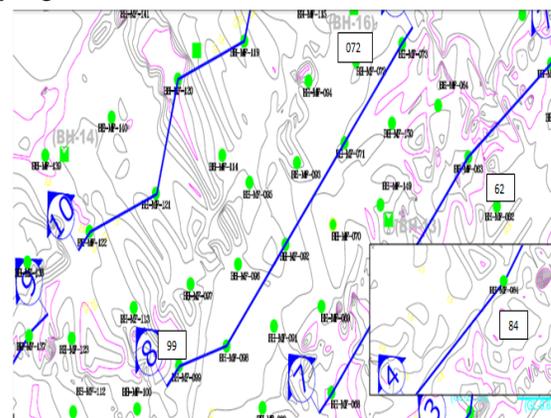
Tahapan pertama dalam proses penelitian dimulai dengan mengumpulkan data gempa yang dapat mewakili kejadian gempa di wilayah Cilegon dengan periode ulang 500 tahun. Hasil pengolahan data gempa di wilayah yang ditinjau diidentifikasi dan dimodelkan letak sumber gempanya. Langkah berikutnya menentukan parameter resiko gempa untuk mendapatkan estimasi percepatan gempa maksimum dan target spektra untuk periode ulang T tahun. Setelah melakukan analisis resiko gempa dan hasil pemodelan kejadian. Data ground motion dicari untuk menggambarkan percepatan gempa maksimum yang terjadi di lokasi Cilegon. Karena data digitasi untuk wilayah Indonesia tidak tersedia maka ground motion sintetik dipilih dari lokasi yang secara geologi dan seimologi mendekati kondisi di Cilegon. Respon spektra permukaan ditentukan dengan menggunakan program NERA yang merupakan adaptasi dari konsep analisis respon dinamik yanah non linier. Input data yang diperlukan adalah parameter G , *damping* (ξ), *unit weight* (γ) dan tebal lapisan

tanah. hasil yang diperoleh adalah respon spektra permukaan akibat rambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan, regangan sebagai fungsi dari modulus geser dan damping rasio yang dihitung dengan menggunakan metoda non linier dengan mengambil tingkat efektif regangan rata-rata pada tiap lapisan.

A. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan mengambil lokasi untuk kota Cilegon. Cilegon adalah kota Industri yang posisi secara geografis berdekatan pantai dan di pulau paling ujung sebelah barat pulau Jawa, karena kepulauan Jawa terletak pada daerah zona subduksi dan patahan dua lempeng tektonik Indo-Australia dan Eurasia maka kota Cilegon merupakan wilayah yang terdampak apabila terjadi gempa tektonik dengan sumber gempa yang berada pada dua zona tersebut.

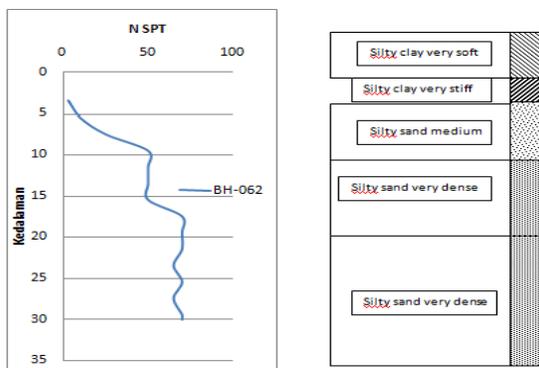
Identifikasi sumber gempa yang paling dominan berpengaruh pada lokasi Cilegon dilakukan dengan mengidentifikasi jenis gempa, magnitude, lokasi sumber gempa dan mekanismenya. Delfebriadi (2009) telah melakukan identifikasi sumber gempa dan analisis resiko gempa yang berpengaruh untuk wilayah Suralaya Banten, dalam penelitian ini peneliti akan menggunakan hasil analisis resiko gempa untuk wilayah Cilegon dari hasil *seismic hazard* dari Suralaya mengingat radius pengaruh data gempa yang diambil adalah 500 yang



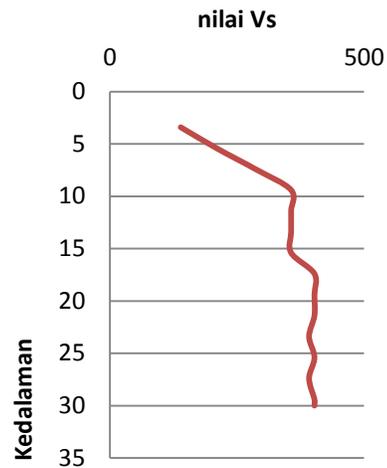
Gambar 1. Titik-titik pengambilan sampel penelitian

B. Karakteristik Tanah Setempat

Profil tanah dibuat berdasarkan hasil penyelidikan di lapangan atau laboratorium. Karakterisasi tanah meliputi sifat dinamis tanah yaitu kecepatan gelombang geser, modulus geser dan damping tanah untuk setiap lapisan tanah. Nilai kecepatan gelombang geser ditentukan melalui pengukuran langsung di lapangan atau dengan menggunakan korelasi kecepatan gelombang geser dengan data penyelidikan lapangan seperti N SPT (*standard penentration test*) atau nilai tahanan konus dari CPT (*cone penetration test*). Data parameter tanah dalam penelitian ini diambil dari 4 (empat) titik penyelidikan tanah menggunakan SPT. Titik-titik penyelidikan berada di proyek pembuatan Coke Plant dan Sinter di PT.Krakatau Posco Cilegon. Titik-titik borehole yang diambil adalah BH-MF-062, BH-MF-072, BH-MF-099 dan BH-MF-84. Layout titik-titik sampel dapat dilihat pada Gambar 1. Parameter dinamis tanah dalam analisis menggunakan data kecepatan gelombang geser (Vs) yang dihasilkan dari korelasi Vs dengan nilai N-SPT. Korelasi yang digunakan dari hasil pengembangan korelasi Jayasaputra (2010) yang dikembangkan untuk wilayah kota Jakarta. Dengan pertimbangan kota Cilegon dekat dengan wilayah Jakarta dan kemungkinan memiliki karakteristik tanah yang hampir sama maka penelitian ini menggunakan korelasi dari Jayasaputra (2010). Stratifikasi tanah dan data hasil N SPT dengan nilai kecepatan gelombang geser untuk salah satu titik yang ditinjau disajikan dalam Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Profil tanah hasil penyelidikan lapangan untuk BH-062



Gambar 3. Profil kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada BH-62

Berdasarkan profil kecepatan gelombang geser Vs pada kedalaman 30 meter pertama ditunjukkan bahwa untuk titik BH-062 kecepatan gelombang geser rata-ratanya adalah 328.27 m/s yang termasuk kelas tanah D yaitu kelompok tanah setengah kaku dimana nilai $180 \text{ m/s} < V_s < 360 \text{ m/s}$ menurut pengklasifikasian NEHRP 97 dan IBC 2006.

C. Memillih Gerakan Batuan Dasar

Gerakan pada batuan yang sesuai (yaitu riwayat waktu percepatan baik alami atau sintetik) dipilih dan dikembangkan untuk memperkirakan gerakan batuan untuk daerah tersebut. Riwayat waktu alami adalah riwayat waktu yang sesuai dengan karakteristik gerakan permukaan seperti parameter-parameter gerakan permukaan puncak, respon spektra, dan durasi getaran paling kuat. Riwayat waktu alami umumnya memiliki kesamaan dengan karakteristik perkiraan untuk desain getaran batuan yang dipilih. Respon spektra batuan harus mendekati dan sesuai dengan atau menyelubungi rencana respon spectra batuan yang dikembangkan untuk daerah tersebut. Riwayat waktu sintetik adalah rekaman riwayat waktu yang dimodifikasi agar dapat membentuk respon spektra yang diinginkan. Spekranya harus mendekati rencana spectra batuan. Durasi getaran juga harus masuk akal. Dianjurkan menggunakan lebih dari satu riwayat waktu

sintetik. Gerakan batuan yang diterapkan akan lebih baik jika menggunakan gerakan batuan pada lokasi yang ditinjau daripada gerakan dasar lapisan tanah. Hal tersebut karena gerakan pada batuan berbeda dengan gerakan pada dasar lapisan tanah.

D. Memilih Motion Gempa Sintetik

Ground motion yang digunakan dalam penelitian diambil dari ground motion alami hasil pencatatan accelerogram yang sesuai dengan kriteria jarak dan magnitudo kejadian gempa di wilayah Cilegon. Beberapa kejadian gempa yang dianggap mendekati kriteria jarak dan magnitudo gempa di sekitar Cilegon disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Daftar kejadian gempa yang mendekati kriteria kejadian gempa Cilegon

Deagregasi (T = 0.2 detik)	R (Km)	Mw	Nama Kejadian Gempa	R (km)	Mw	Stasiun, Sumber Data
Megathrust	89	6.3	Borego Mountain	122	6.8	San Onofre, SCE
Benioff	166	6.2	Borego Mountain	122	6.8	San Onofre, SCE
Shallow crustal	28	5.9	Livermore	33.1	5.8	Fremont-Mission San Jose, CDMG

Deagregasi (T = 1.0 detik)	R (Km)	Mw	Nama Kejadian Gempa	R (km)	Mw	Stasiun, Sumber Data
Megathrust	97	6.8	Borego Mountain	122	6.8	San Onofre, SCE
Benioff	174	6.4	Borego Mountain	122	6.8	San Onofre, SCE
Shallow crustal	34	6.2	Livermore	33.1	5.8	Fremont-Mission San Jose, CDMG

Sumber: Delfabriadi, 2009

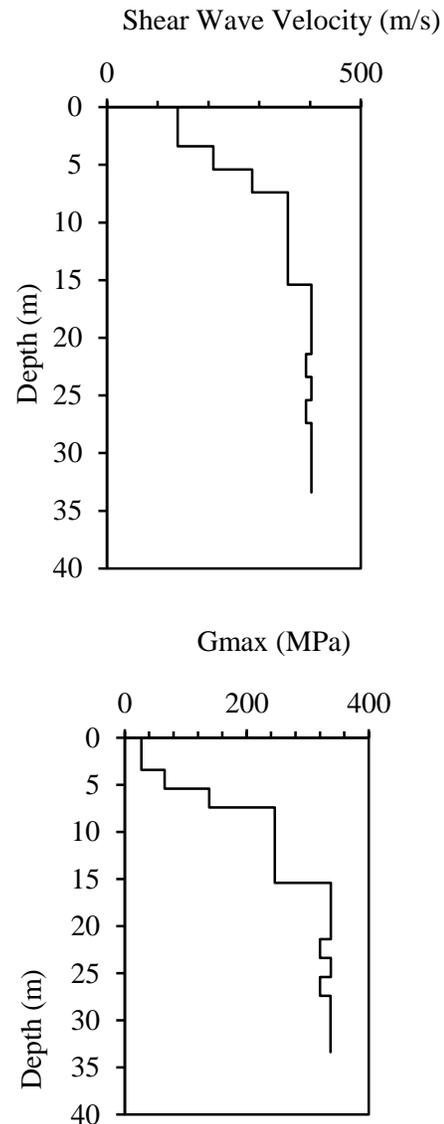
Ground motion kemudian diskalakan agar mendekati kriteria dan respon spektra target untuk wilayah Cilegon. Hasil penskalaan ground motion sintetik untuk pada periode T = 0.2 detik dan T = 1 detik diberikan dalam Gambar 3.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Percepatan Maksimum di Permukaan

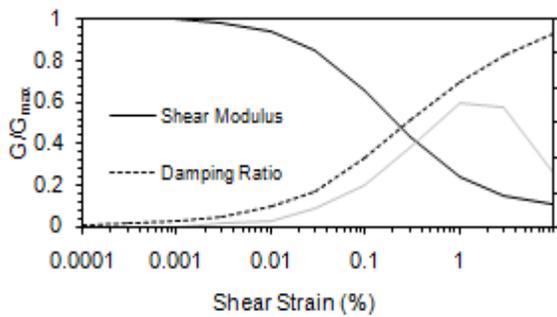
Percepatan maksimum di permukaan ditentukan melalui analisis dengan teori perambatan gelombang 1-dimensi. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak NERA menggunakan input data percepatan di batuan dasar (ground motion) sintetik dan data

profil kecepatan gelombang geser dan G_{maks} tanah terhadap kedalaman. Contoh profil tanah terhadap kecepatan gelombang geser dan G_{maks} disajikan dalam Gambar 4 untuk lokasi BH-MF-62.

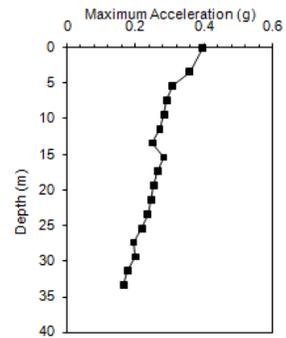


Gambar 4. Profil nilai modulus geser dan kecepatan gelombang geser (Vs) dari program NERA

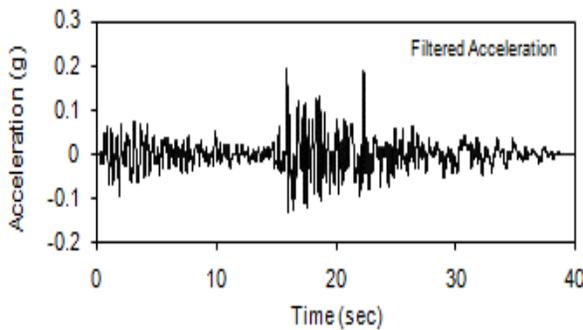
Hasil perhitungan rasio modulus geser dan damping dari analisis menggunakan NERA diperlihatkan dalam Gambar 5 dan ground motion sintetik yang menjadi input dalam proses menjalankan NERA disajikan dalam Gambar 6.



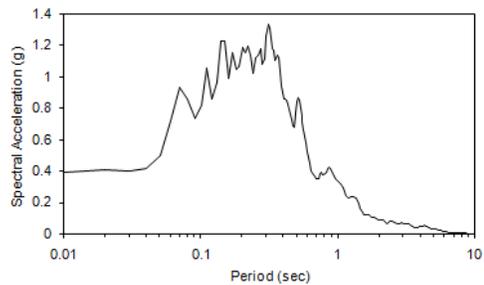
Gambar 5. Hasil perhitungan rasio modulus geser dan damping untuk BH-MF-62



(b)

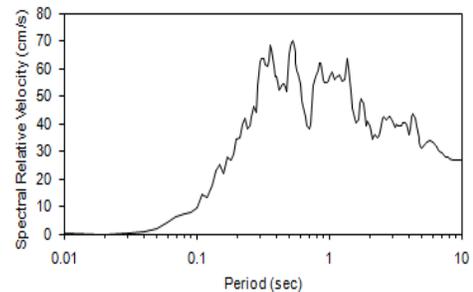


Gambar 6. Ground motion sintetik untuk input NERA

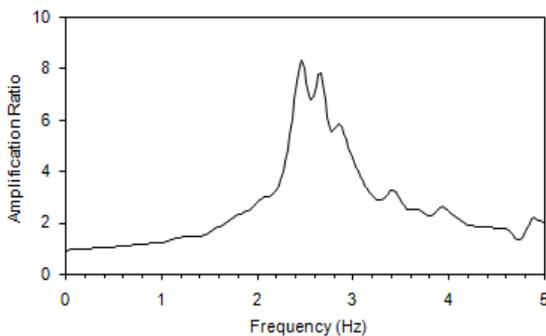


(c)

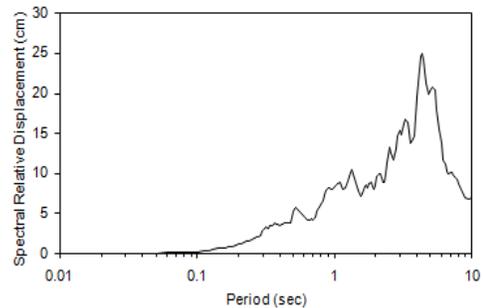
Hasil output dari program NERA adalah nilai amplifikasi nilai percepatan di batuan dasar sampai di permukaan tanah, respon spektra percepatan, respon spektra kecepatan, dan respon spektra pergerakan di permukaan tanah. Contoh hasil output dari program Nera berupa nilai amplifikasi disajikan dalam Gambar 7.



(d)



(a)

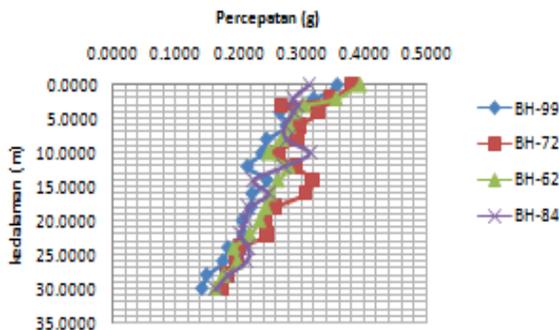


(e)

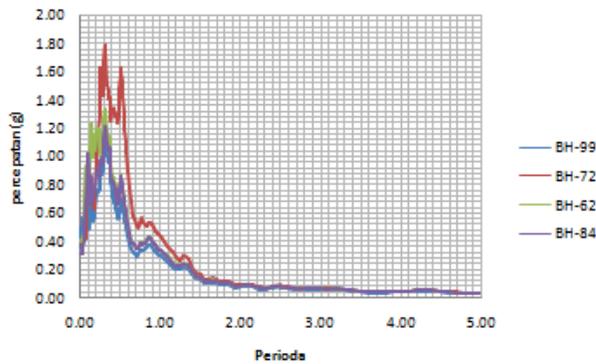
Gambar 7. Hasil output Nera (a) faktor amplifikasi (b) profil percepatan (c) spectral acceleration (d) spectral velocity (e) spectral displacement untuk BH-MF-62

B. Rekomendasi Respon Spektrum Permukaan Desain

Berdasarkan hasil analisis perambatan gelombang 1-dimensi menggunakan program NERA diperoleh percepatan gempa di permukaan dari percepatan di batuan dasar 0.21 g meningkat menjadi 0.32g – 0.4 g. Profil percepatan di permukaan untuk 4 titik yang ditinjau pada mekanisme gempa subduksi disajikan dalam Gambar 8. Respon Spektra yang dihasilkan dari program ini untuk 4 titik yang ditinjau disajikan dalam Gambar 9.

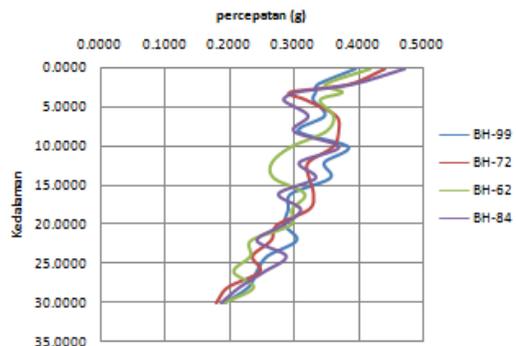


Gambar 8. Profil percepatan di permukaan untuk empat titik untuk mekanisme gempa subduksi

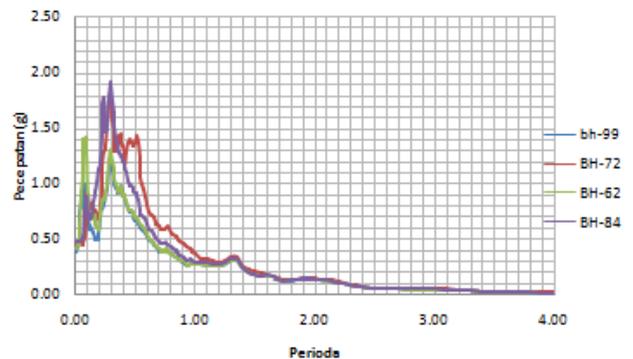


Gambar 9. Respon spektra gempa di permukaan untuk mekanisme gempa subdukdi

Respon spektra gempa di permukaan untuk mekanisme gempa subduksi menghasilkan nilai percepatan gempa rata-rata di T = 0.0 detik sama dengan 0.36g, di T= 0.2 detik adalah 0.94g dan di T = 1 detik adalah 0.35g. Percepatan maksimum rata-rata dari spektra diperoleh 1.52g.



Gambar 10. Profil percepatan di permukaan untuk mekanisme gempa *Shallow crustal*



Gambar 11. Respon spektra gempa untuk mekanisme gempa *shallow crustal*

Profil percepatan gempa di permukaan pada mekanisme gempa kerak dangkal Gambar 10 menunjukkan bahwa di permukaan percepatan gempa maksimum memiliki rentang nilai 0,32g – 0.39g. Respon spektra gempa di permukaan untuk mekanisme gempa subduksi menghasilkan nilai percepatan gempa rata-rata di T = 0.0 detik sama dengan 0.43g, di T= 0.2 detik adalah 0.73g dan di T = 1 detik adalah 0.3g. Percepatan maksimum rata-rata dari spektra diperoleh 1.6g.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengklasifikasian dan identifikasi karakteristik tanahnya, kelas tanah yang menjadi lokasi penelitian merupakan kelas tanah setengah kaku (medium to stiff soil) menurut klasifikasi NEHRP 97, SNI-1726-2002, dan IBC 2006. Dengan percepatan gempa di batuan dasar 0.2g menurut SNI -1726-2002 melalui proses perambatan gelombang

diperoleh percepatan di permukaan 0.32g - 0.45g yang sesuai dengan percepatan gempa yang dihasilkan peta gempa Indonesia yang dikeluarkan oleh Puslitbang Sumber Daya air Litbang PU 2004 untuk wilayah Cilegon sekitar 0.45g untuk periode ulang 500 tahun.

Percepatan gempa desain untuk Cilegon dikalikan dengan faktor koreksi 0.5 sehingga percepatan gempa desain dipermukaan untuk wilayah Cilegon 0.16g – 0.22g. sesuai dengan percepatan gempa desain dari SNI_1726-2002.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anbazaghan, P., Shitaram, T.G., dan Dvya C (2007). Site Response Anaysis Based On Site Specific Soil Properties Using Geotechnical And Geophysical Tests: Correlation Between Gmax And N_{60} . 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. No. 1286.
- Cornel C.A. (1968). Engineering Seismic Risk Analysis. *Bulletin Of seismological society of America* 58. 1583-1606.
- Das, M Braja (1993). Principal of Soil Dynamic. PWS KENT, Boston
- Delfebryadi (2009). Analisis Site Specific Response Spectra Gempa Untuk Daerah Suralaya. Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Desyanti (2008) Analisis Seismic Hazard dan Respon Spektra Gempa Rencana untuk Wilayah Bali dan Nusa Tenggara Barat dengan menggunakan Software USGS-PSHA-07. Tesis Magister. Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Handayani, A (2009). Analisis Respon Spektra Permukaan pada Daerah Jakarta Pusat Menggunakan Perangkat Lunak NERA. Tesis Magister, Institut Teknologi Bnadung, Bandung
- Imai, T dan Tonouchi, K (1982) Correlation N Value with S-wave Velocity and Shear Modulus. *Proceeding of Second European Symposium on penetration Testing*.Amsterdam, The Netherland, pp 67-72.
- Iwasaki R dan Ohsaki, Y (1973). On Dynamic Shear Modulli dan Poisson's Ratio of Soil Deposit. *Soil and Foundation*. JSSMFE, Vol. 13, N.4, Desember pp 59-73
- Jayasaputra, U. (2010) Studi Korelasi Empiris untuk Menntukan *Shear Wave Velocity* tanah dengan Menggunakan Data *SASW Seismic Down Hole* dan Data Penyelidikan Tanah. Tesis Magister. Institut Teknologi Bandung
- Kramer, Steven L (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, New Jersey
- Ohta, Y dan Goto, N (1978). Empirical Shear Wave Velocity Equation in Term of characteristic Soil Indexes. *Earthquake Engineering and Structure Dynamic*. Vol. 6, pp 167-187.
- Seed, H.B., Wong R.T., Idris, I.M, dan Tokumatsu, K (1986). Evaluation of Modulli & Damping Factor for Dynamic Analysis of Cohesionless Soil. *Geotechnical Engineering Division*, ASCE, vol. 112, No. GTI 1, November, pp 1016-1032