Perbandingan pemodelan respon spektra menggunakan analisis *discreet point* dengan standar perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung tahun 2010 (Studi kasus Kecamatan Cilacap Selatan, Kota Cilacap, Provinsi Jawa Tengah)

Comparison of spectra response modeling based on discreet point analysis with earthquake resistance planning standards for building and non building of 2010 (Case study in South Cilacap District, Cilacap City, Central Java Province)

[1]Arifan Jaya Syahbana dan [2]Prahara Iqbal

[1]Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI Bandung, Jln. Sangkuriang Bandung

[2]UPT LUTPMB LIPI

Pekon Padang Dalom, Liwa, Lampung Barat, 34873

ABSTRAK

Pemodelan respon spektra berdasarkan metode *Discreet Point* dan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung Tahun 2010 telah dilakukan dengan mengambil lokasi di Kecamatan Cilacap Selatan, Kota Cilacap, Provinsi Jawa Tengah. Pengeboran teknik dilakukan di dua titik di Kota Cilacap, yaitu BH-02 dan BH-03 untuk mengetahui stratigrafi tanah dan karakteristik fisik tanah daerah penelitian. Studi mengenai respon spektra mutlak dilakukan terutama pada daerah dengan nilai ekonomi dan sosial yang tinggi. Hal ini guna mengantisipasi kegagalan struktur bangunan saat gempa bumi terjadi. Metode yang dilakukan pada studi ini adalah *Discreet Point*. Metode ini menganggap tanah akan menjadi beban pada suatu sistem pemodelan di tengah lapisan. Input yang dimasukkan adalah Gempa Bumi Chichi, Kobe, dan Kocaeli. Alasannya adalah adanya kesamaan mekanisme dengan gempa bumi yang melanda Kota Cilacap pada tahun 2011. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa: input gempa bumi yang mempunyai karakteristik percepatan sama dapat menghasilkan respon spektra yang berbeda apabila durasi efektif gempa bumi berbeda, daerah Cilacap pada titik BH-02 dan BH-03 mengalami deamplifikasi apabila ditinjau menggunakan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung (ditulis: SPKGUBG&NG) 2010, sedangkan penelitian ini menghasilkan deamplifikasi untuk lokasi BH-02 dan amplifikasi yang kecil pada lokasi BH-03. Hasilnya, lokasi BH-02 percepatan di batuan dasar dari 0,457g menjadi 0,33g sedangkan lokasi BH-03 dari 0,462g menjadi 0,51g.

Kata kunci: *Discreet Point*, SPKGUBG&NG 2010, respon spektra

Naskah diterima 12 Juli 2014, selesai direvisi 29 Juli 2014
Korespondensi, email: arifanjaya@yahoo.co.id

ABSTRACT

Comparison of response spectra based on modeling method of Discreet Point and Building and Non-Building Earthquake Resistance Planning Standards 2010 has been conducted in South Cilacap District, Cilacap City, Central Java Province. Drilling technique was carried out at two locations in Cilacap City, named BH-02 and BH-03, to know soil stratigraphy, sampling, and physical characteristics of the research areas. Study on response spectra is should be conducted absolutely mainly at the areas of high economic and social values. This study is is carried out to anticipate structural failures when earthquake occurs. The Mmethod applied in this study is Discreet Point. This method assumes that soils will become the load on a modeling system in the middle of the layer. Earthquake inputs applied in the simulation are Chichi, Kobe, and Kocaeli. The reason is that there is similarity in mechanism with the one that hit Cilacap City in 2011. Research results show that: earthquake inputs that have the same acceleration characteristics can result in different response spectra when effective duration of the earthquake is different, the Cilacap area at BH-02 and BH-03 experienced deamplification when viewed using SPKGUBG&NG 2010, while this study resulted in unamplification to the location of BH - 02 and a small amplification at location BH – 03. In this study, the acceleration at BH-02 the bedrock was unumplified from 0, 457g to become 0, 33g, while at location of BH-03 it underwent umplification from 0, 462g to 0, 51g. The result shows that at location of BH – 02 the acceleration in the bedrock which was 0,457g became 0,33g, whereas at location BH – 03 which was of 0,462g became 0,51g.

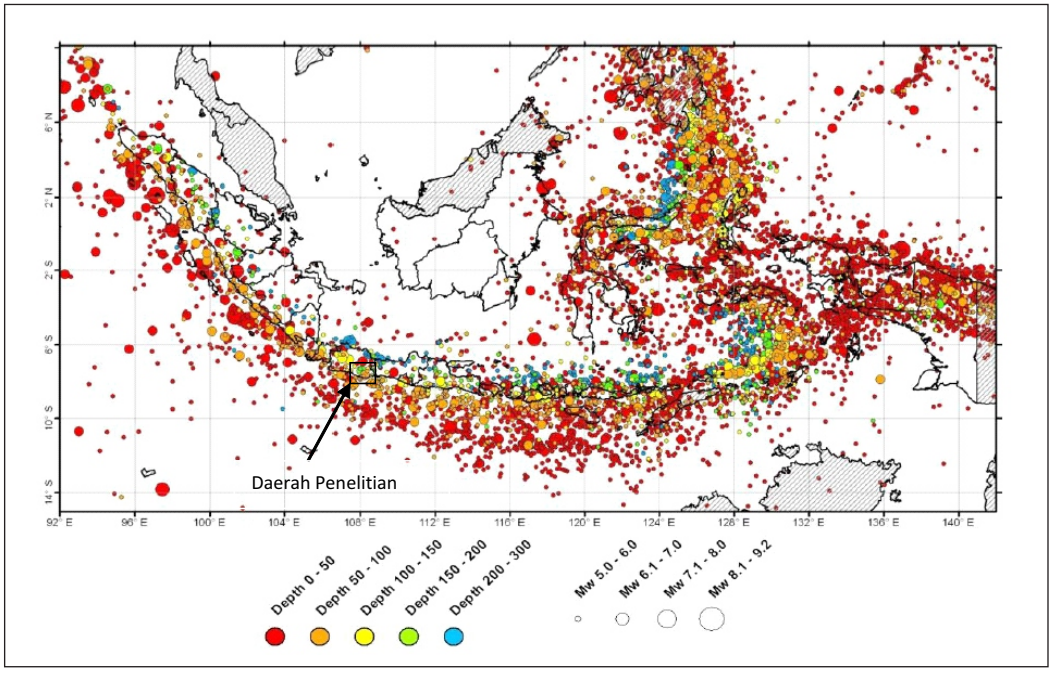
***Keywords**: Discreet Point, SPKGUBG&NG 2010, response spectra*

PENDAHULUAN

Secara geologi, Indonesia merupakan wilayah yang terbentuk dari interaksi tiga lempeng besar dunia, yaitu Lempeng Samudra Indo-Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia. Hal tersebut menempatkan Indonesia menjadi salah satu wilayah yang memiliki kegiatan seismisitas tertinggi di dunia dan menjadi salah satu wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi (Irsyam *et al.*, 2010) (Gambar 1). Kondisi tektonik yang dimiliki oleh Indonesia membuat daerah ini memiliki potensi dan kendala ditinjau dari aspek kewilayahan. Selain potensi sumber daya energi dan mineral yang melimpah, bencana kebumian merupakan kendala yang harus diwaspadai. Ilustrasi bencana ini dapat diamati dari beberapa kejadian: 1) gempa bumi yang mengguncang Aceh dan sekitarnya berkekuatan 9,3 SR pada tanggal 26 Desember 2004 mengakibatkan 173.741 jiwa meninggal, 116.368 orang dinyatakan hilang, hampir setengah juta orang jadi pengungsi, serta ribuan rumah dan bangunan rusak (Anonim, 2004), 2) gempa bumi pada tanggal 27 Mei 2006 yang mengguncang Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dan sekitarnya berkekuatan 5,9 SR yang mengakibatkan setidaknya 5.749 orang tewas, 38.568 terluka dan 600.000 orang mengungsi. Lebih dari 127.000 rumah hancur dan 451.000 rumah rusak di daerah (Anonim, 2006a), 3) gempa bumi Padang berkekuatan 7,9 SR tanggal 30 September 2009, yang mengguncang Pesisir Kota Padang dan sekitarnya (Anonim, 2013) menyebabkan sebanyak 1.117 orang tewas dan 135.448 rumah rusak berat, 65.380 rumah rusak sedang, serta 78.604 rumah rusak ringan, 4) gempa bumi yang terjadi pada tanggal 17 Juli 2006 di Ciamis dan Cilacap dengan kekuatan 7,7 SR yang menyebabkan setidaknya 600 orang meninggal, 1.430 bangunan rusak serta adanya tsunami di Pangandaran setinggi 1,8 m (Anonim, 2006b), 5) gempa bumi yang

terjaditanggal 2 September 2009 yang menimpa daerah Tasikmalaya dan Cianjur dengan kekuatan 7,0 SR mengakibatkan setidaknya 72 orang tewas dan adanya longsor di Cikangkareng (Anonim, 2009) dan 6) gempa bumi pada tanggal 4 April 2011 dengan kekuatan 6,7 Mw di daerah Cilacap yang turut dirasakan hingga ke sejumlah daerah di Pulau Jawa, seperti Ponorogo, Yogyakarta, Tasikmalaya, Bandung, Jakarta, Depok, dan Bogor (Anonim, 2011). Ketiga gempa terakhir tersebut terjadi di daerah penelitian dan sekitarnya.

Dalam beberapa tahun terakhir kebutuhan informasi mengenai teknik kegempaan sangat diperlukan baik dari kalangan masyarakat umum sampai dengan akademisi. Secara umum, gempa bumi tidak membahayakan manusia, akan tetapi akibat dari kerusakan struktur bangunan itulah yang banyak menyebabkan kerugian jiwa dan material. Seiring dengan hal tersebut, pengetahuan yang perlu dipelajari adalah pemahaman mengenai respon spektra. Struktur bangunan diharapkan akan tetap stabil selama gempa bumi mengguncang apabila dalam perancangannya menggunakan respon spektra pada lokasi tersebut. Melalui penelitian ini akan dikaji mengenai perbandingan pemodelan metode *Discreet Point* dengan model yang diperoleh berdasarkan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non gedung Tahun 2010 (SPKGUBG&NG 2010) yang telah dibuat oleh Tim 9 sebagai revisi SNI 2002 Tentang Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung 2002.



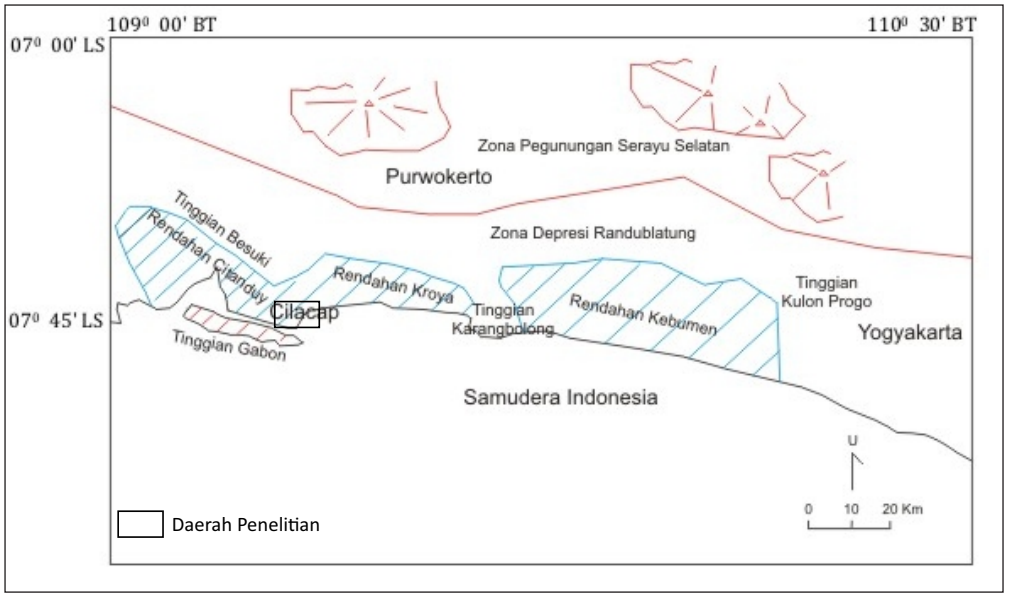
Gambar 1. Data seismisitas di Indonesia dan sekitarnya tahun 1900-2009 (Irsyam dkk, 2010).

GEOLOGI DAERAH STUDI KASUS

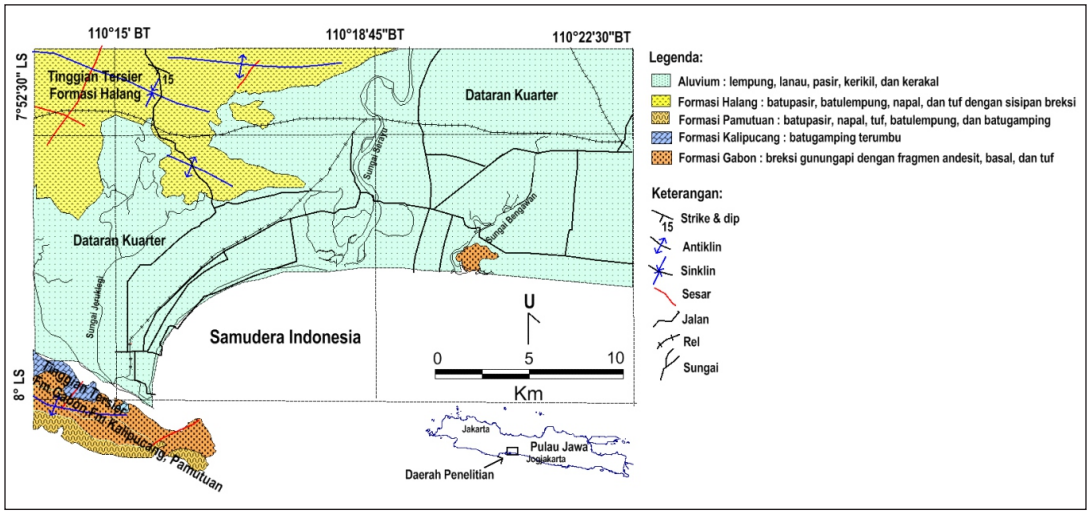
Fisiogafi Daerah Studi Kasus

Secara fisiografi daerah Cilacap dan sekitarnya merupakan daerah dataran rendah pesisir yang dipengaruhi oleh aktivitas tektonik dari Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia yang berada di sebelah selatan daerah ini. Aktivitas tektonik tersebut membentuk Tinggian dan Rendahan yang secara tidak langsung menjadi pembatas daerah Cilacap dan sekitarnya (Gambar 2). Tinggian dan rendahan yang berkembang di sekitar Kota Cilacap adalah Tinggian Besuki, Rendahan Citanduy, dan Tinggian Gabon yang berada dan membentang di sebelah barat daya serta barat laut Kota Cilacap (Sujanto dan Roskamil, 1975). Kota Cilacap terletak pada Rendahan Citanduy yang dibatasi oleh Tinggian Gabon di selatan, Tinggian Besuki di utara, dan Rendahan Kroya di timur (Sujanto dan Roskamil, 1975). Daerah tersebut banyak diisi oleh sedimen darat dan sedimen laut (Simanjuntak, T, 1979; Untung dan Yato, 1978).

Batuan dasar penyusun daerah Cilacap dan sekitarnya berumur Oligosen Akhir sampai Kuarter (Asikin *et al.,* 1992) (Gambar 3). Formasi batuan tertua adalah Formasi Gabon berupa batuan hasil kegiatan gunung api yang terdiri dari breksi gunung api dengan fragmen andesit, basal, dan tuf. Kemudian Formasi Kalipucang yang terdiri dari batu gamping terumbu dengan warna putih kekuningan, padat, dan mengandung cangkang moluska, foraminifera, serta ganggang yang berumur Miosen Tengah. Selanjutnya Formasi Pamutuan yang terdiri dari batu pasir, napal, tuf, batulempung, dan batu gamping yang berumur Miosen Tengah juga. Setelah Formasi Pamutuan, diendapkan Anggota breksi Formasi Halang dan Formasi Halang itu sendiri yang berumur Miosen Tengah-Pliosen Awal yang merupakan sedimen



Gambar 2. Kerangka tektonik daerah Jawa Tengah Bagian Selatan (Sujanto dan Roskamil, 1975).



Gambar 3. Peta geologi daerah Cilacap dan sekitarnya (modifikasi dari Asikin dkk., 1992).

turbidit, disusun oleh perselingan batu pasir, batu lempung, napal, dan tuf dengan sisipan breksi. Formasi batuan terakhir penyusun daerah penelitian adalah endapan Kuarter aluvium dan endapan pantai berupa lempung, lanau, pasir, kerikil, dan kerakal. Endapan tersebut dapat ditemukan di dataran rendah Cilacap dengan lingkungan pengendapan estuari, pematang pantai, dan *lagoon* (Praptisih *et al.,* 2001). Endapan Kuarter tersebut yang dominan menyusun daerah penelitian.

Kegempaan

Daerah Cilacap dan sekitarnya berada di sebelah utara zona tumbukan dua lempeng besar, yaitu Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia. Daerah perbatasan lempeng ini merupakan zona seismisitas yang aktif, sehingga banyak terjadi gempa bumi tektonik yang diakibatkan oleh konvergensi antar lempeng tersebut. Oleh karena itu, pesisir Cilacap dan sekitarnya memiliki kerawanan bahaya gempa bumi yang tinggi (Irsyam *et al.,* 2010) (Gambar 1).

Metodologi

Respon Spektra

Respon spektra ialah spektra yang disajikan dalam bentuk plot hubungan antara periode getar (T) struktur dan respon maksimum untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu (Pawirodikromo, 2012). Respon maksimum ini dapat berupa parameter perpindahan, kecepatan atau percepatan. Kegunaan respon spektra ini adalah 1) untuk mengetahui perilaku suatu bangunan yang mempunyai rasio redaman di suatu lokasi akibat beban gempa tertentu dan 2) untuk merancang perkuatan struktur bangunan dengan masukan beban gempa tertentu. Terkait dengan SPKGUBG&NG 2010, dalam penelitian ini ingin dibandingkan apabila didapat litologi tertentu di suatu lokasi apakah respon spektra yang dihasilkan dapat mirip apabila didekati dengan metode *Discreet Point.*

Discreet Point

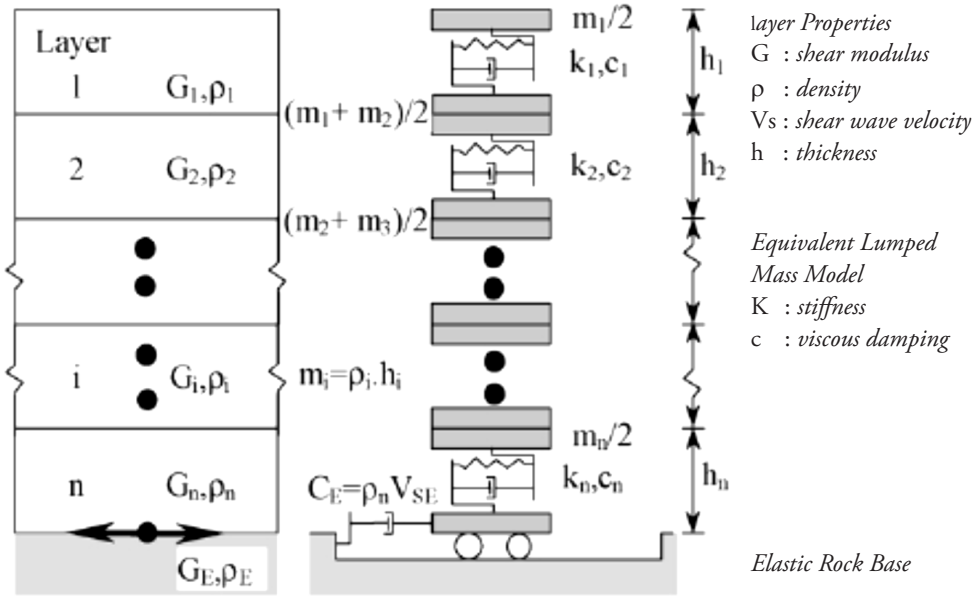
Metode *Discreet Point* merupakan metode pendekatan frekuensi domain dengan meng-

asumsikan suatu profil tanah menjadi beberapa nodal pada suatu sistem kebebasan berderajat banyak. Gambar 4 memperlihatkan dan menjelaskan bahwa massa tanah dianggap membebani secara terpusat pada sistem di tengah lapisan tanah yang dilengkapi parameter kekakuan dan redaman. Hal inilah yang menjelaskan bahwa nantinya hasil simulasi yang didapatkan selalu berasosiasi dengan bagian tengah lapisan tiap tanah. Dalam pemodelan ini digunakan perangkat lunak *Deep Soil* V.5 untuk mengetahui respon spektra yang terjadi pada lapisan teratas (tanah penutup).

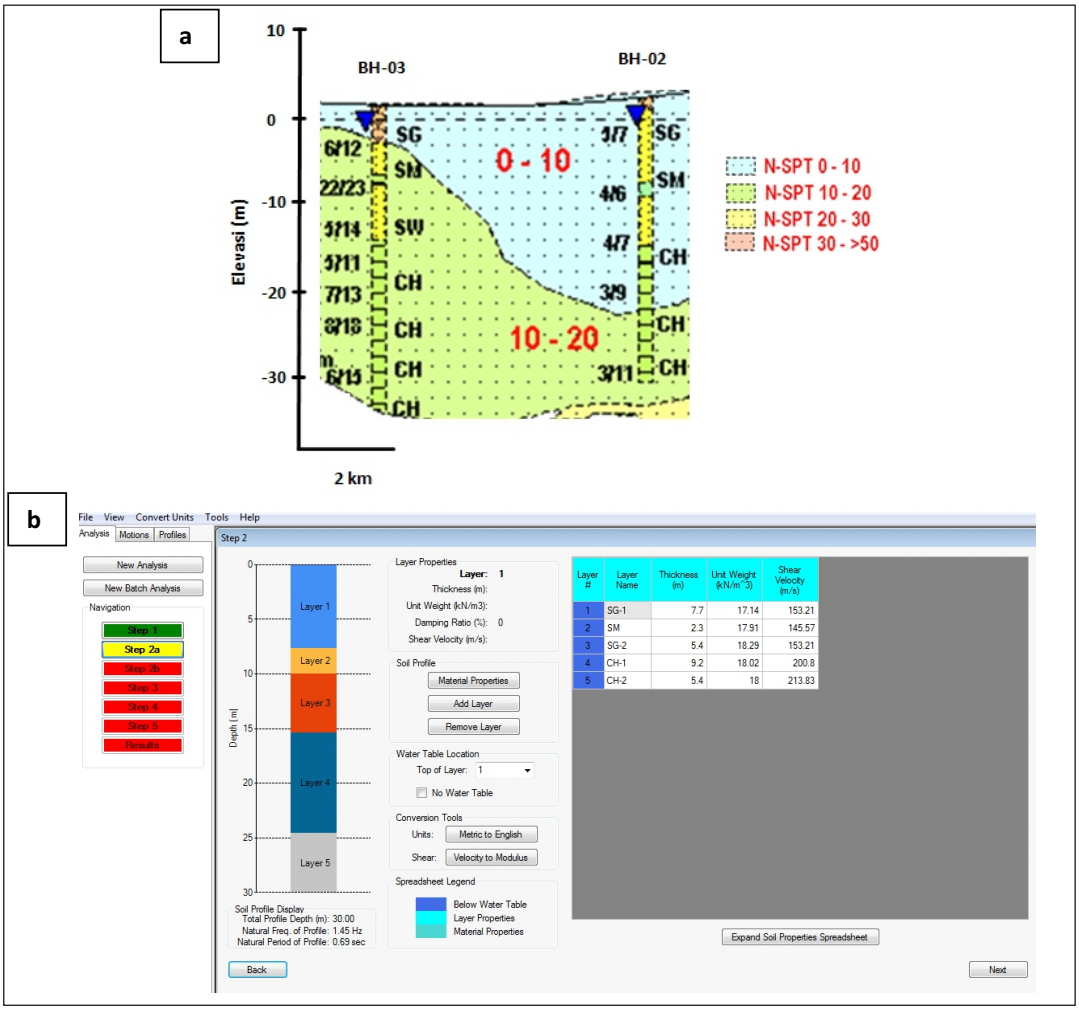
Pemodelan Kondisi Tanah di Lokasi Studi

Metode yang dilakukan pada studi ini adalah dengan membuat profil tanah terlebih dahulu, selanjutnya dianalisis mengunakan program *Deep Soil* V.5. Profil tanah dibuat berdasarkan lintasan yang sudah dibuat oleh Soebowo *et al.*, (2009) (Gambar 5).

Strong motion yang digunakan adalah Gempa bumi Chichi, Kobe, dan Kocaeli yang telah diskala berdasarkan percepatan batuan dasar yang ada pada peta percepatan batuan dasar pada standar perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung tahun 2010 (Anonim, 2010), yaitu masing-masing untuk lokasi BH-02 dan BH-03 (pada Gambar 6) sebesar 0,457g dan 0,462g. Penskalaan ini dimaksudkan untuk menyamakan nilai percepatan maksimum yang terjadi pada daerah lokasi penelitian. Selanjutnya, alasan dipilihnya input gempa bumi tersebut karena mempunyai mekanisme dan magnitude yang hampir sama dengan gempa bumi yang mengguncang Cilacap pada tahun 2011 (Anonim, 2010). Magnitude Gempa bumi Chichi, Kobe dan Kocaeli



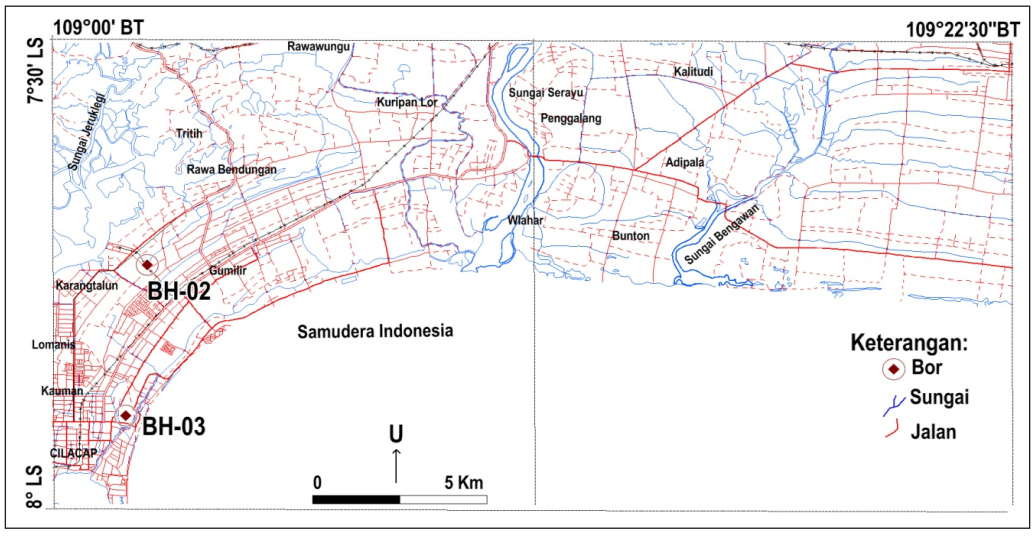
Gambar 4. Pemodelan menggunakan *Discreete Point* (Hashash dan Park, 2002).



Gambar 5. Profil tanah (a) Profil tanah hasil pemboran teknik (Soebowo dkk., 2009), (b) Pemodelan profil tanah pada BH-02

masing-masing adalah 7,6; 7,2 dan 7,4 Mw, sedangkan Gempa bumi Cilacap 6,7 Mw.

Lokasi yang dipilih sebagai penelitian adalah lokasi yang dinilai mempunyai aspek ekonomi dan sosial yang tinggi di Kota Cilacap. Lokasi ini merupakan area pertokoan, perkantoran, pemukiman, dan daerah perindustrian (Gambar 6). Data inti bor pada dua lokasi pengeboran teknik (Gambar 6) memberikan gambaran lapisan sedimen yang terdiri dari perulangan lempung dan pasir (Tabel 1). Pasir sebagai material dominan penyusun daerah penelitian memiliki karakteristik ukuran butir pasir sedang sampai pasir kasar dan lepas-lepas sampai agak padat dan mempunyai nilai N-SPT berkisar 0-20 (Meyerhof, 1956 dalam Hardiyatmo, 2006), pasir tersebut diendapkan di lingkungan pantai (Soebowo *et al.,* 2009). Berdasarkan



Gambar 6. Peta lokasi bor.

Tabel 1. Parameter Keteknikan Tanah Daerah Penelitian

No	Lokasi	Koordinat (48M) X	Koordinat (48M) Y	Batas Atterberg (%) LL	Batas Atterberg (%) PI	Jenis Tanah (USCS)	Lingkungan Pengendapan	Ketebalan (m)	γ (kN/m3)	N SPT	Vs (m/s)
1	BH-02	282096,1	9150041			SG	Pantai	7,7	17,14	7	153,21
						SM		2,3	17,91	6	145,57
						SG		5,4	18,29	7	153,21
				78	45,07	CH	Lagoon	9,2	18,02	9	200,8
				97	58,58	CH		5,4	18	11	213,83
2	BH-03	281506,00	9145513,77			SG	Pantai	2,9	19,4	7	153,21
						SW		2,9	19,13	12	183,23
						SM		0,5	19,46	23	227,41
						SW		6,8	19,32	14	192,85
				49,50	40,76	MH		4,3	18,45	11	213,83
				80,75	26,01	CL	Lagoon	4	18,12	13	225,32
				83,00	47,18	CH		4,7	18,35	18	249,52
				90,80	49,12	CH		3,9	18,35	15	235,66

klasifikasi USCS pasir termasuk kedalam jenis SG, SW, dan SM. Sedangkan lempung memiliki karakteristik teguh sampai kokoh dengan nilai N-SPT berkisar 11-18 (Liong, 1995), mengandung banyak pecahan cangkang fauna laut, dan diendapkan di lingkungan *lagoon*. Berdasarkan Klasifikasi USCS, maka tanah ini termasuk ke dalam jenis CH (lempung dengan tingkat plastisitas tinggi) (Tabel 1).

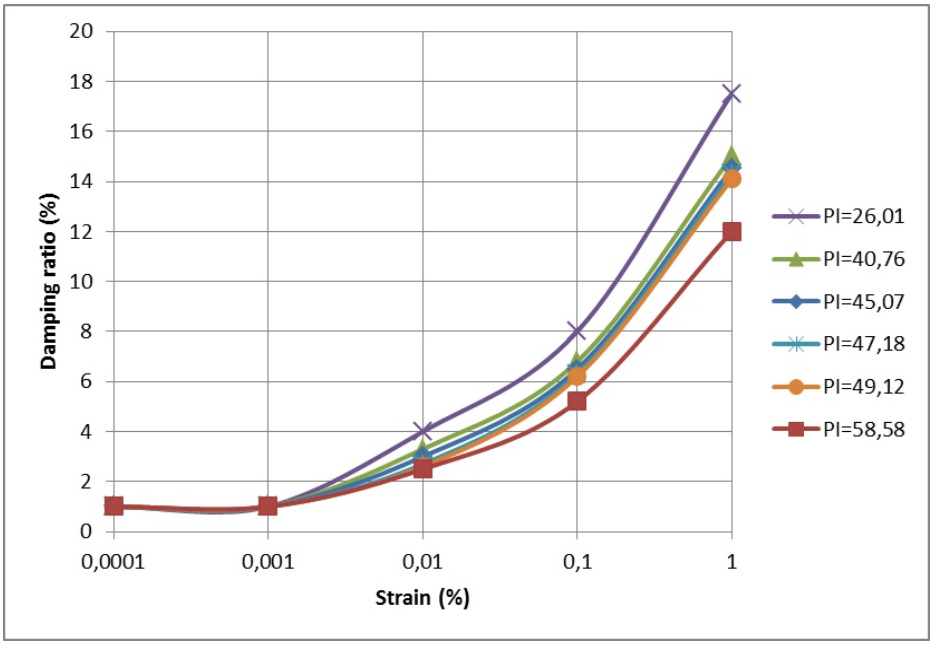
Parameter dinamik tanah yang digunakan pada simulasi ini adalah Vs dan *damping ratio*. Nilai Vs didapatkan dengan korelasi nilai N SPT menggunakan rerata metode IMAI (1981) dan JRA (1990) dalam Widodo (2012a). Sementara untuk data Vs didasarkan pada perencanaan umum yang sering digunakan dalam pembuatan respon spektra, yaitu hanya sampai pada kedalaman 30 m dengan menganggap rambatan sumber gempa dari *bedrock* dianggap homogen sampai dengan kedalaman tersebut (Anonim, 2010). *Damping ratio* untuk tanah pasir digunakan pemodelan Seed dan Idriss, 1991. Sedangkan untuk jenis tanah lunak dipergunakan pendekatan Vucetic dan Dobry, (1991) dalam Hashash dan Park (2002). Khusus untuk pendekatan Vucetic dan Dorbry diperlukan data indeks plastisitas yang akan menentukan kurva redaman yang terjadi. Kurva yang terbentuk pada Gambar 7 merupakan rekapitulasi dari tanah lunak yang terdapat pada lokasi penelitian. Dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya nilai indeks plastisitas (PI) maka nilai perbandingan modulus geser (G/Gmax) akan semakin meningkat, sedangkan nilai *damping ratio* nya akan menurun. Kurva ini merupakan penjabaran dari kurva yang telah ada sebelumnya (Vucetic dan Dobry, 1991) akan tetapi dengan skala indeks plastisitas yang lebih dipersempit.

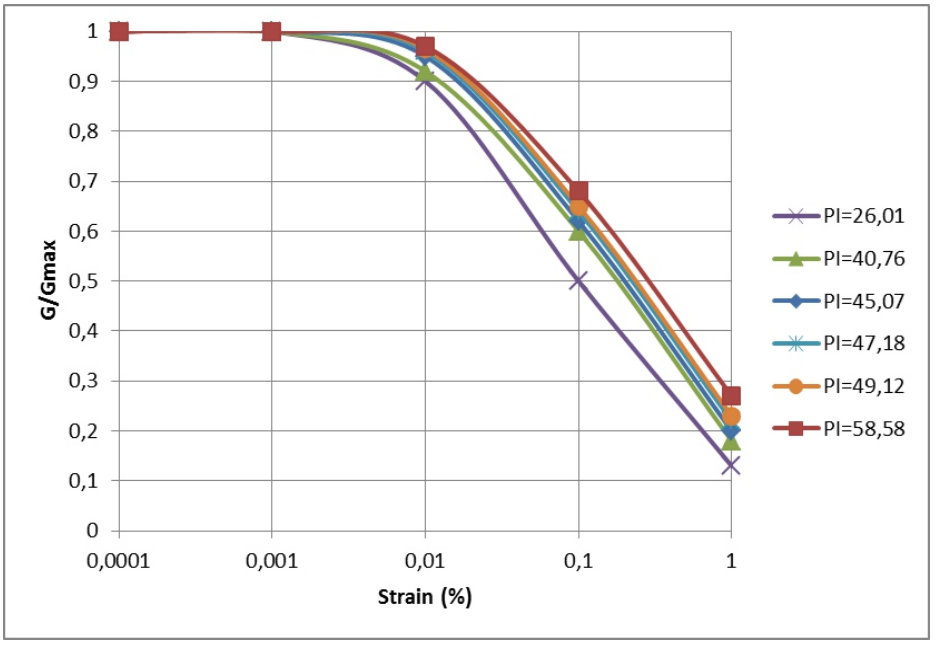
Pada pemodelan dinamik menggunakan analisis *Discreet Point* ini, besarnya *damping ratio* tidak konstan, akan tetapi berubah-ubah sesuai dengan regangan yang terjadi akibat input gempa yang dijalankan. Hal ini lebih menggambarkan keadaan sebenarnya di lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

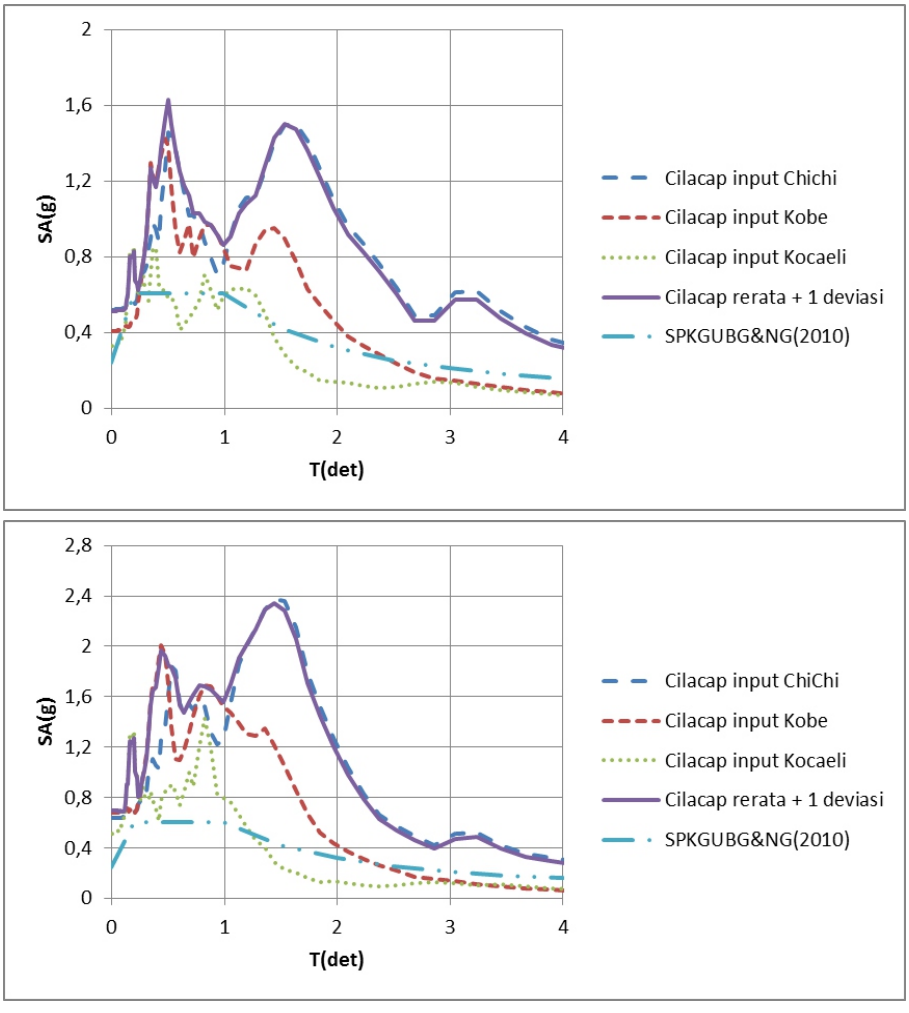
Hasil analisis menggunakan beberapa masukan *ground motion* ditunjukkan pada Gambar 8. Ternyata untuk daerah BH-02 apabila menggunakan masukan Gempa Kocaeli hasil respon spektranya lebih mendekati dengan hasil analisis SPKGUBG&NG 2010, sedangkan untuk daerah BH-03 hasilnya berada di atas peraturan tersebut. Pada lokasi BH-02 apabila ditarik rerata puncak respon spektra berdasarkan Gempa Chichi akan bernilai 1,20g sedangkan dengan Gempa Kobe bernilai 1,00g. Di sisi lain, lokasi BH-03, dengan menggunakan input Gempa Chichi dan Gempa Kobe akan menghasilkan rerata puncak respon spektra berturut-turut sebesar 1,60g dan 1,40g.

Lokasi BH-03 menghasilkan amplifikasi yang lebih besar disebabkan karena adanya lapisan lempung yang memiliki ketebalan 16,9 m dan memiliki nilai indeks plastisitas yang tinggi, yaitu di atas angka 17% (Hardiyatmo, 2006). Tanah jenis ini sangat sensitif dengan beban dinamik seperti gempa bumi. Pertanyaan selanjutnya adalah apa yang menyebabkan respon spektra hasil studi ini berbeda dengan SPKGUBG&NG 2010. Pada studi ini selanjutnya dilakukan analisis terhadap karakteristik input motionnya. Karakter yang dimaksud adalah durasi efektif gempa bumi. Terdapat beberapa konsep mengenai durasi efektif gempa bumi, akan tetapi pada studi ini digunakan





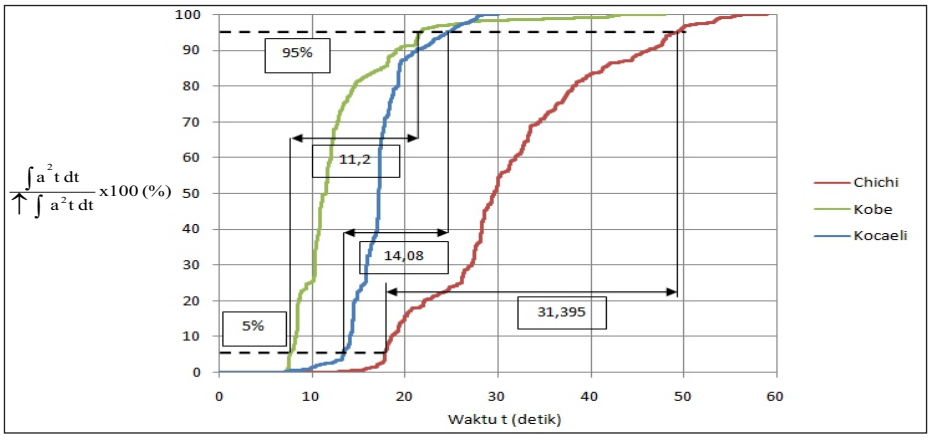
Gambar 7. Kurva hubungan strain (regangan) dengan *damping ratio* dan perbandingan modulus geser.



Gambar 8. Hasil analisis menggunakan beberapa gempa besar dan perbandingannya dengan SPKGUBG&NG 2010. a) Lokasi BH-02, b) Lokasi BH-03.

Metode Trifunac dan Brady. Alasannya adalah metode ini cukup baik dalam memperkirakan waktu efektif tanpa direpotkan dengan banyak parameter seperti metode Mc Cann dan Shah (Widodo, 2012b).

Dengan pendekatan Metode Trifunac dan Bardy, maka diperoleh data waktu efektif gempa bumi. Metode ini menganggap waktu efektif gempa bumi adalah waktu akumulasi nilai integral kuadrat percepatan tanah atau $\int a2(t)\,dt$ dari 5% sampai dengan 95%. Hasil penghitungan dapat diamati pada Gambar 9. Pada gambar tersebut terlihat bahwa ternyata durasi efektif Gempa bumi Kocaeli mempunyai waktu terkecil dibandingkan Gempa bumi Kobe dan Chichi. Durasi efektif Gempa bumi Kocaeli, Kobe, dan Chichi berturut-turut sebesar 11,2 detik, 14,08 detik dan 31,395 detik.



Gambar 9. Durasi efektif Gempa Kocaeli, Kobe dan Chichi berdasarkan Metode Trifunac dan Brady (Theofanopulos dan Watabe, 1989).

Pada kasus gempa bumi di Cilacap, karakter material khas yang berupa endapan pantai dan *lagoon* akan berpengaruh terhadap amplifikasi percepatan tanah antara *base rock* dengan permukaan tanah. Tanah endapan yang sangat sensitif disini ialah lempung dengan nilai indeks plastisitas yang tinggi (PI), yang mencapai angka 49,12%. Pada gempa bumi dengan durasi efektif pendek bisa menyebabkan deamplifikasi atau amplifikasi yang tidak besar karena regangan yang terjadi masih berada pada tahap inelastik sehingga redaman yang terjadi masih besar. Sementara gempa bumi dengan karakteristik durasi panjang akan mengakibatkan tanah sudah berada pada tahap mendekati plastis sehingga regangan sudah demikian besarnya yang berakibat redaman mengecil. Pada akhirnya untuk daerah BH-02 hasil respon spektra yang dihasilkan akan mirip dengan hasil dengan SPKGUBG&NG 2010 apabila durasi efektif gempa bumi hanya berlangsung sekitar 11 detik, sedangkan untuk daerah BH-03 akan mendekati apabila durasi efektif diperkirakan di bawah 11 detik.

KESIMPULAN

Berdasarkan studi ini, dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran, yaitu input gempa bumi yang mempunyai karakteristik percepatan sama dapat menghasilkan respon spektra yang berbeda apabila durasi efektif gempa bumi berbeda, daerah Cilacap pada titik BH-02 dan BH-03 mengalami deamplifikasi apabila ditinjau menggunakan SPKGUBG&NG 2010, sedangkan pendekatan *Discreet Point* dengan input gerakan Gempa Bumi Kocaeli menghasilkan deamplifikasi untuk lokasi BH-02 dan amplifikasi yang kecil pada lokasi BH-03. Lokasi BH-02 memiliki percepatan di batuan dasar dari 0,457g menjadi 0,33g sedangkan BH-03 dari 0,462g memiliki percepatan di batuan dasar dari menjadi 0,51g. Perbedaan yang timbul antara kedua pendekatan diperkirakan karena adanya perbedaan durasi efektif gempa bumi yang dipakai. Yang terakhir perbedaan antara kedua metode lebih terjadi pada lokasi BH-03 karena adanya lapisan tanah tebal (16,9 m) yang sensitif dengan beban gempa bumi, lapisan tanah

yang dimaksud adalah lempung dengan nilai PI yang tinggi. Saran untuk penggunaan peta bahaya kegempaan SPKGUBG&NG 2010 adalah disertainya keterangan mengenai gempa bumi yang mengontrol lokasi tersebut terutama dari sisi mekanisme dan durasi efektif gempa bumi yang dipakai apabila akan dilakukan analisis deterministik.

ACUAN

Anonim, 2004, Gempabumi dan Tsunami 26 Desember 2004, *https://inatews.bmkg.go.id/-new/about_inatews.php?urt=2,* 15 September 2014

Anonim, 2006a, Earthquake Information for 2006, *http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/-eqarchives/year/2006/,* 15 September 2014

Anonim, 2006b, Magnitude 7.7 - SOUTH OF JAVA, INDONESIA, USGS, *http://earthquake.usgs.gov/-earthquakes/eqinthenews/2006/usqgaf*, 28 Agustus 2014

Anonim, 2009, Magnitude 7.0 - JAVA, INDONESIA, USGS, http://earthquake.usgs.gov/-earthquakes/eqinthenews/2009/us2009lbat/, 28 Agustus 2014

Anonim, 2010, RSNI3 03-1726-201x tentang *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*

Anonim, 2011, Significant Earthquakes of the World 2011 , USGS, *http://earthquake.usgs.gov/-earthquakes/eqarchives/significant/sig_2011.php,* 29 Agustus 2014

Anonim, 2013, Historic World Earthquakes, *http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/-historical-country_mag.php*, 25 April 2013

Asikin, S., Handoyo, A., Prastistho, B., dan Gafoer, S., 1992, *Peta Geologi Lembar Banyumas, Jawa,* Puslitbang Geologi, Bandung

Hardiyatmo, H.C., 2006, *Mekanika Tanah 1*, Gadjah Mada Press, ISBN979-420-631-8, Yogyakarta, p.48

Hashash, Y.M.A., dan Park, D., 2002, *Viscous Damping Formulation And High Frequency Motion Propagation In Non-Linear Site Response Analysis*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22 (2002) Elsevier pp. 611–624

Irsyam, M., Sengara, I.W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Kertapati, E., Natawidjaja, D.H., Meilano, I., Soehardjono, Asrurifak, M., dan Ridwan, M., 2010, *Penggunaan Peta Gempa Indonesia 2010*, Kementerian Pekerjaan Umum

Liong, G.T, 1995, *Sudah Standarkah Standard Penetration Test Kita, Jakarta*, disampaikan dalam Kursus Singkat Hatti-jakarta 6-8 Juni 1995: Pengujian Tanah dan intepretasinya: Masalah dan Dampaknya terhadap Desain serta Cara Mengatasinya

Pawirodikromo, W., 2012, *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta, ISBN: 978-602-229-110-7, pp.383

Praptisih, Soebowo, E., Widodo, Rachmat, A., Irianto, B., 2001, *Geologi Kuarter Daerah Cilacap, Kaitannya Dengan Daya Dukung Lahan dan Hidrogeologi*, laporan Penelitian, Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI, Bandung

Simanjuntak, T.O, 1979, *S*ediment gravity flow deposits in Pangandaran – Cilacap region, South west Java and their bearing the tectonic development of south western Indonesia, *Bull.Geol.Res. and Dev. Center*, 2, 21 – 54.

Soebowo, E., Tohari, A., Kumoro, Y., dan Daryono, M.R., 2009, *S*ifat Keteknikan Bawah Permukaan Di Daerah Pesisir Cilacap, Jawa Tengah, *PROCEED-*

INGS PIT IAGI SEMARANG 2009 The 38th IAGI Annual Convention and Exhibition Semarang, 13 - 14 Oktober 2009

Sujanto, F.X. dan Roskamil, 1975, The Geology And Hidrocarbon Aspects Of The South Central Java, *Prosiding Pertemuan IAGI*, Bandung

Theofanopulos, N.A., dan Watabe, M., 1989, A New Definition of Strong Motion Durations and Comparison with Other Definitions, Japan Society of Civil Engineers (Proc. Of JSCE No.404/I-11), S*tructural Eng./Earthquake Eng. Vol 6. No.1*, April 1989, pp. 111s-122s

Untung, M., and Y. Sato (Eds)., 1978, *Gravity and Geology Studies in Java, Indonesia*, Geological Survey of Indonesia and Geological Survey of Japan.

Vucetic, M., dan Dobry, R., 1991, Effect of Soil Plasticity on Cylic Response, J*ournal of Geotechnical Engineering, Vol 117, No.1*, Januari, 1991, ASCE,ISSN 0733-9410/91/0001-0089, pp.89-107