

POTENSI LIKUIFAKSI DI DAERAH SANUR – BENOA, BALI SELATAN, BERDASARKAN STUDI GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN

Eko Soebowo¹, Yugo Kumoro¹, M.Ruslan¹ dan Dwi Sarah¹

¹Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI

Jl. Sangkuriang, Bandung 40135

Email: eko.soebowo@geotek.lipi.go.id, soebowoeko@yahoo.com

Sari

Ancaman geologis khususnya peristiwa likuifaksi saat gempa bumi besar pada jalur rawan gempa bumi di Bali Selatan merupakan sesuatu yang dapat terjadi, dan dapat menimbulkan kerusakan yang luas pada bangunan dan sarana infrastruktur. Wilayah Sanur - Pendungan – Serangan – Benoa, Bali Selatan telah dilakukan kajian sifat keteknikan lapisan tanah bawah permukaan kaitannya dengan potensi bahaya likuifaksi dan penurunannya berdasarkan pemboran teknik, pengujian *Cone Penetration Test* (CPT), dan *Cone Penetration Test with pore water measurement* (CPTu).

Hasil penyelidikan menunjukkan bahwa endapan Kuartar terdiri dari material pasir, lanau, lempung setempat pasir kasar pada lingkungan fluvial, *meander*, *swamp*, aluvium yang mempunyai ketebalan mencapai 25 – 30 meter, dengan batuan dasarnya berupa batugamping dari Formasi Selatan dengan kedalaman muka airtanah dangkal sekitar 0,25 sampai 4 meter dan di beberapa lokasi lebih dari 4 meter. Analisis potensi likuifaksi dan penurunan di daerah ini menunjukkan bahwa hampir semua titik pengujian mengindikasikan terjadinya likuifaksi dan penurunan. Zona likuifaksi terkonsentrasi di bagian tengah daerah studi pada kedalaman kisaran 0,2 - 15 m. Sedangkan konsentrasi penurunan yang tinggi terutama di Sanur (CPTu-01,10 dan 12), Serangan (CPTu – 02), Benoa (CPTu-15), Bualu (CPTu-06) dan Tanjungbenoa (CPTu-07), yang perlu mendapat perhatian dalam upaya mitigasi bahaya likuifaksi di wilayah ini.

Kata kunci : gempa bumi, likuifaksi, penurunan, endapan kuartar

Abstract

The threat of geological events, especially the occurrence of liquefaction during large earthquakes on earthquake prone area in South Bali can cause extensive damage to buildings and infrastructures. Engineering geological investigation was conducted in Sanur Area - Pendungan - Serangan - Benoa, South Bali to understand subsurface engineering properties in relation to the potential of liquefaction hazards and settlement. Investigation consisted of geotechnical drilling, Cone Penetration Test (CPT), and Cone Penetration Test with pore water measurement (CPTu).

The investigation showed that the Quaternary sediments consisting of sand, silt, coarse sand, clay and coarse sand deposited in fluvial environment, meanders, swamp, alluvium of thickness 25-30 meters. The base rock is limestone of the South formation with shallow groundwater depths of 0.25 up to 4 meters and more than 4 meters.

Analysis of liquefaction potential and settlement in this region showed that almost all test points indicate the potential of liquefaction and settlement. Liquefaction zones are concentrated in the center area of study with the depth range of 0.2 to 15 m. The highest settlement is found mainly in Sanur (CPTu-01, 10 and 12), Serangan (CPTu - 02), Benoa (CPTu-15), Bualu (CPTu-06) and Tanjungbenoa (CPTu-07), which require greater attention for the liquefaction hazard mitigation efforts in the region.

Keyword: earthquake, liquefaction, settlement, quaternary deposit

PENDAHULUAN

Peristiwa gempabumi besar selain dapat menimbulkan tsunami, juga dapat menyebabkan peristiwa likuifaksi pada daerah dataran yang terbentuk oleh endapan non-kohefif yang bersifat lepas dengan muka airtanah yang dangkal. Manifestasi likuifaksi umumnya berupa perpindahan lateral (*lateral spreading*), penurunan (*settlement*), dan kehilangan kestabilan pondasi bangunan akibat penurunan daya dukung pada tiang pondasi (*loss of bearing capacity*), *defferential settlement* karena adanya getaran tanah seketika akibat gempa bumi (Seed dan Idriss, 1971; Youd, 1992 dan Kramer, 1996). Peristiwa likuifaksi dapat menyebabkan kerusakan pada infrastruktur seperti bangunan perkantoran, pemukiman, jalan, jembatan, tanggul penahan, yang dibangun di atas lapisan tanah pasir lepas dan jenuh air.

Wilayah Selatan Bali merupakan wilayah pantai umumnya berupa endapan dataran pantai Holosen yang terdiri dari material yang lepas berupa kerikil, pasir, lanau, lempung dengan wilayah mulai sempit hingga cukup luas (Sudadi dkk., 1986 dan Purbo-Hadiwidjojo dkk., 1998). Endapan dataran pantai tersebut merupakan jalur zona seismik dengan seismisitas yang cukup tinggi dan aktif yang dikatagorikan dalam zona seismik 3, 4, dan 5 (SNI 03 – 1726 – 2002, Kementrian Pekerjaan Umum, 2010 dan BMKG). Selain itu merupakan wilayah yang memiliki kerentanan bahaya gempabumi yang tinggi karena wilayah ini berada \pm 150 km sebelah selatan zona subduksi yang aktif. Sejarah kegempaan di daerah ini telah mencatat peristiwa gempabumi besar seperti pada tahun 1862 : MMI VII, tahun 1890: MMI VII, tahun 1917 : MMI VII, tahun 1938 : MMI VII, tahun 1961 : MMI VII tahun 1977 : MMI VIII, tahun 1979 : MMI VII - VIII, tahun 1985 : 6.2 SR, tahun 1987 : 5.7 SR, tahun 2004: 6.1 SR, 6.2 SR, 5.5 SR selatan Bali (<http://www.bmkg.go.id/katalog/gempa>).

Pada bagian depan dataran delta dari lembah sungai di sepanjang pantai Kuta – Sanur - Benoa – Serangan, Bali Selatan pada periode Holosen (Kuarter) ditafsirkan dibentuk oleh pasang surut kenaikan muka laut, proses sedimentasi dari kegiatan vulkanik yang mengisi cekungan kuarter dan pada jalur zona kegempaan. Dengan demikian pada bagian muara-muara sungai endapan sedimen kuarter tersebut sangat rentan terjadi likuifaksi akibat guncangan gempabumi maupun pergerakan tanah dan cenderung berpotensi terjadi likuifaksi (Youd dan Perkins, 1978). Dengan melakukan pengamatan lingkungan geologi teknik, muka airtanah setempat, tingkat kepadatan tanah, pengujian sifat keteknikan tanah bawah permukaan dan karakteristik gempa bumi (p.g.a/ percepatan getaran tanah maksimum) pada endapan dataran holosen (Kuarter), maka akan diketahui zona potensi likuifaksi dan penurunan daerah-daerah yang rentan terhadap bahaya likuifaksi. Dengan diketahuinya zona-zona bahaya likuifaksi dapat bermakna dalam upaya untuk memprediksi dan mitigasi dalam rangka mengurangi resiko bencana geologis yang sesuai dengan daerah setempat.

Tulisan ini menghasilkan zona kedalaman potensi likuifaksi dan penurunan bawah permukaan pada jalur rawan gempabumi yang diharapkan dapat membantu dalam memecahkan masalah dalam mendukung penyusunan tataruang maupun perencanaan sarana infrastruktur mengingat wilayah ini kemungkinan akan terkena dampak gempa bumi di masa mendatang.

METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi investigasi geoteknik lapangan, yang meliputi kegiatan pemboran teknik sebanyak 5 buah untuk mengetahui susunan perlapisan tanah dengan melakukan uji N-SPT pada setiap lubang untuk menganalisis potensi likuifaksi. Juga dilakukan pengujian sondir/CPTu sebanyak 17 titik dengan alat digital/elektrik sehingga menghasilkan gambaran bawah permukaan sifat keteknikan secara kontinyu. Grafik yang dihasilkan dari uji insitu ini menggambarkan hubungan penampang kedalaman dengan stratifikasi klasifikasi jenis tanah, tekanan konus (qc), *friction ratio* (fr) dan Rf .

Dalam analisis potensi likuifaksi pada setiap satu titik CPTu menggunakan prosedur metode Seed and Idriss (1971), Robertson dan Wride (1989), Tokimatsu dan Seed (1978) yang terdapat dalam perhitungan perangkat lunak Software Shake2000 (Gustavo, 2000). Grafik penampang tersebut menunjukkan kedalaman dan hubungan antara rasio tegangan siklik (CSR) akibat beban gempa dan rasio hambatan siklik (CRR) akibat kekuatan tanah serta faktor keamanan lapisan tanah yaitu rasio perbandingan CRR/CSR. Faktor keamanan (FK) yang digunakan dalam studi ini menggunakan batasan $FK > 1$ untuk mengindikasikan lapisan tanah aman terhadap likuifaksi, dan $FK < 1$ untuk mengindikasikan lapisan tanah tidak aman terhadap likuifaksi serta penurunan tanah totalnya.

HASIL/DISKUSI

Geologi bawah permukaan

Wilayah Sanur – Pendungan – Serangan – Bena, Bali Selatan merupakan suatu paparan endapan fluviatil, *swamp*, *meander* dan *alluvium* yang terletak pada cekungan “Bena – Sanur” dimana pada bagian utara dibatasi oleh endapan vulkanik hasil produk gunungapi Batur dan bagian selatan dibatasi oleh tinggian batugamping Formasi Selatan. Geologi daerah ini dicirikan oleh endapan kuartar yang berupa endapan fluviatil, *swamp*, *meander* dan *alluvium* yang tersusun oleh perulangan satuan pasir yang cukup dominan dengan ukuran butiran mulai halus hingga kasar dengan sisipan lanau dan lempung. Kedalaman endapan kuartar ini mencapai hingga kedalaman ± 25 meter yang cukup dangkal berdasarkan hasil pemboran teknik (Tim Geoteknologi – LIPI, 2010, Gambar 1). Kedalaman muka airtanah di daerah ini berkisar antara 0.5 - 4 m dan di beberapa lokasi kemungkinan dapat mencapai lebih > 4 meter. Pola aliran muka airtanah baik dari bagian utara dan selatan kesemuanya menuju Laut Bali (Gambar 2a).

Kondisi stratigrafi bawah permukaan dataran *alluvium* Holosen ini dicirikan oleh perulangan satuan pasir yang cukup dominan dengan ukuran butiran mulai halus hingga kasar, lanau, lempung di beberapa tempat campuran pasir - kerikil. Perulangan lapisan di daerah ini, menunjukkan bahwa daerah ini setidaknya telah terjadi proses sedimentasi yang berulang-ulang akibat pengangkatan dan penurunan baik oleh tektonik, pasang surut ataupun oleh proses sedimentasi pada saat pengendapan masa lalu pada cekungan ini. Hal ini dicirikan oleh siklus endapan pasir yang lepas baik berukuran halus hingga kasar dengan ketidakmenerusan lapisan lanau dan lempung yang saling membaji/*interfingering* di beberapa tempat.

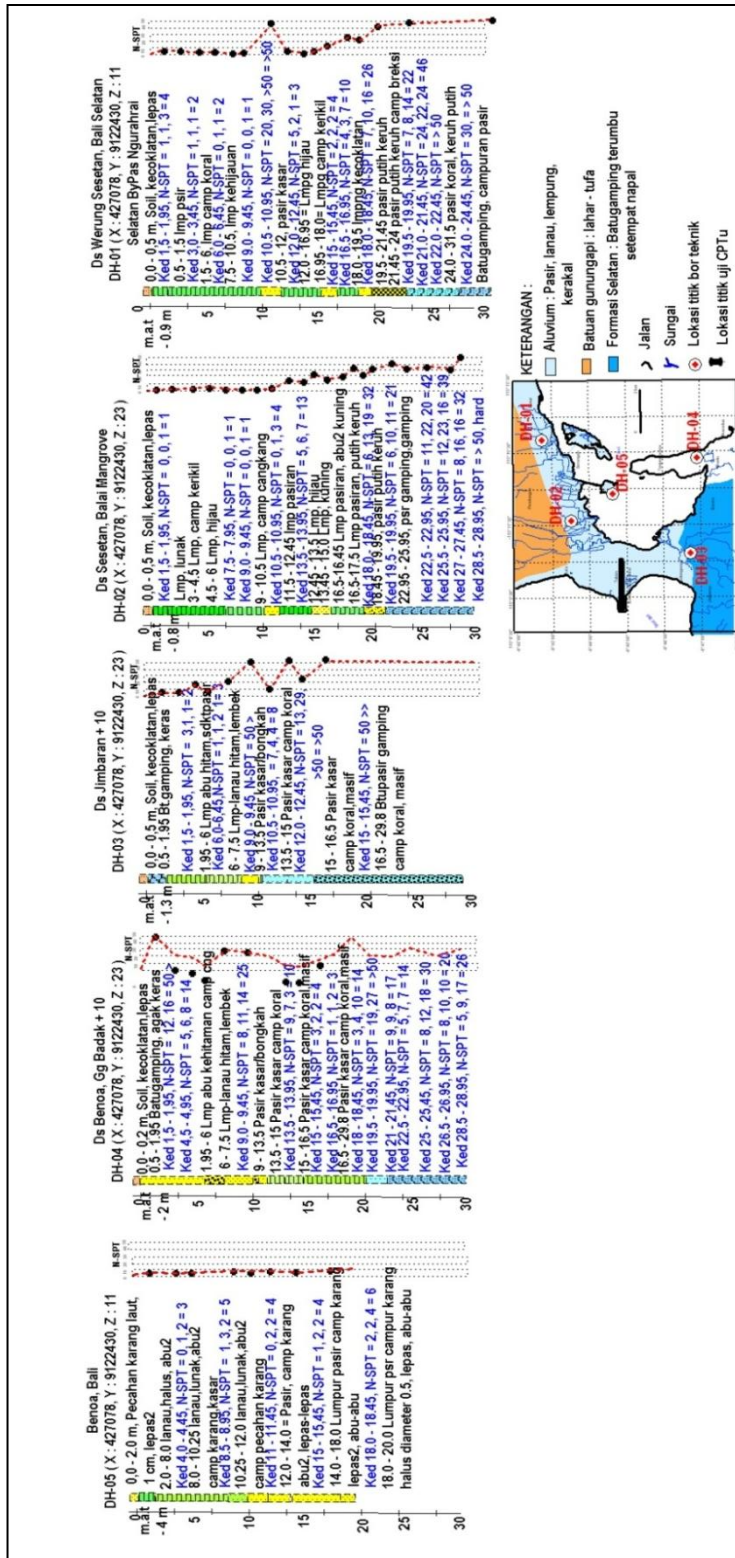
Tingkat konsistensi kepadatan lapisan tanah sedimen bawah permukaan mencerminkan bahwa tingkat kepadatannya lepas hingga agak padat (nilai N-SPT < 10), material agak padat – padat (nilai N-SPT 10 – 30) dan material padat – sangat padat (nilai N-SPT > 30, Blake, 1997), menunjukkan bahwa lapisan pasir tersebut cenderung terjadi likuifaksi. Data uji insitu CPTu dan hasil analisisnya menunjukkan bahwa nilai tekanan konus $/qc < 100 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai fraction $/fs < 10 \text{ kg/cm}^2$. Dengan demikian variasi jenis lapisan tanah lunak dan lanau-pasir dengan tingkat kepadatan relatif lepas cenderung akan mengalami potensi likuifaksi dan penurunan dengan kedalaman yang bervariasi mulai 0,4 meter hingga 15 meter.

Potensi Bahaya Likuifaksi dan Penurunan

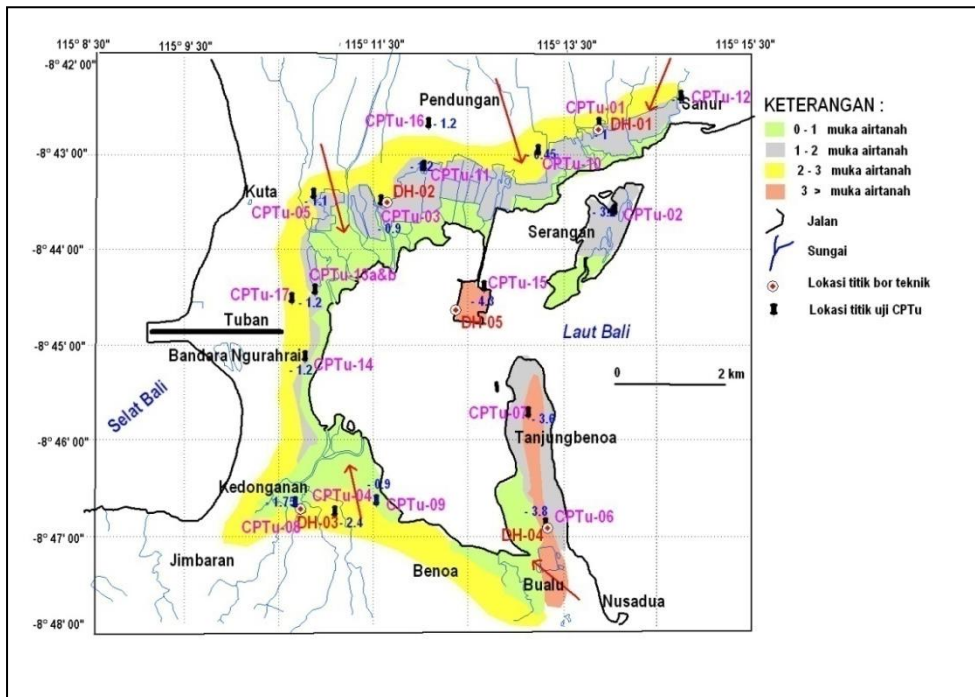
Tabel 1 dan Gambar 3, menunjukkan variasi hasil analisis potensi bahaya likuifaksi dari setiap titik pengujian sondir/CPTu dan bor teknik/DH, yang menggambarkan potensi likuifaksi dan besarnya penurunan lapisan tanah, dimana hampir semua titik uji mengindikasikan peristiwa likuifaksi. Potensi bahaya likuifaksi di daerah ini terutama terdapat pada lapisan lanau - pasir yang terbentang pada kedalaman antara 0,2 - 15 m, hal ini tercermin dari beberapa penampang bor teknik dan uji CPTu yang dicirikan oleh lapisan pasir – lanau yang tersebar cukup dominan yang saling membaji dengan lapisan lempung. Disamping itu dari uji material lanau – pasir

distribusi butirannya dapat dikategorikan pada batas “*very easily liquiely*” atau *easelly liquiely*” yang mengindikasikan material tersebut mudah mengalami likuifaksi (Gambar 2b).

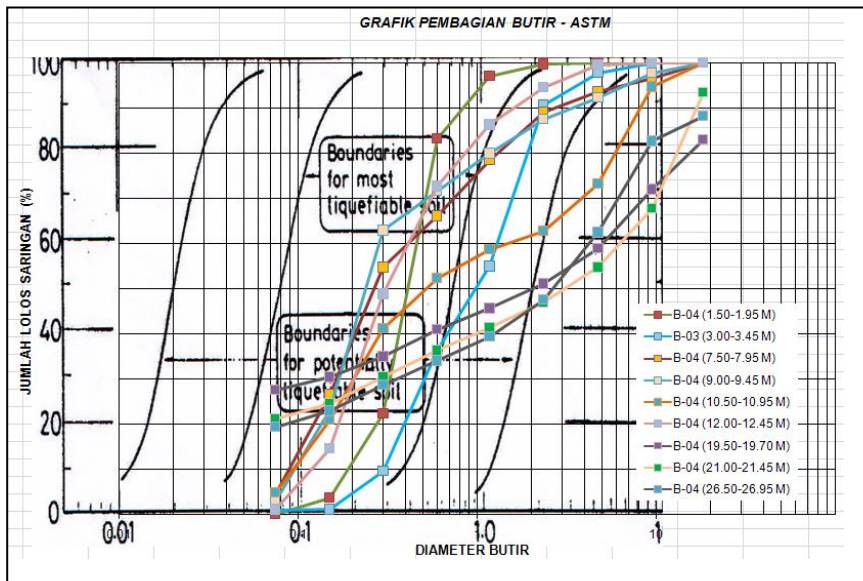
Penurunan lapisan tanah akibat likuifaksi di daerah Kedunganan dapat mencapai antara 1.27 cm dan pelabuhan Tanjungbenoa mencapai 58,56 Cm, dimana zona penurunan yang tinggi terutama terkonsentrasi di daerah Sanur (CPTu-01,10 dan 12), Serangan (CPTu – 02), Benoa (CPTu-15), Bualu (CPTu-06) dan Tanjungbenoa (CPTu-07), hal ini dikarenakan keberadaan endapan pasir lepas dan lanau dengan tingkat kepadatan mulai sangat lepas hingga agak padat nilai $q_c < 100$ kPa dan $N-SPT < 10$, juga pada lapisan tanah reklamasi seperti di pelabuhan Tanjungbenoa dan Serangan (Gambar 4). Sedangkan kearah bandara Ngurahrai lapisan pasir cenderung semakin menipis. Zona potensi bahaya likuifaksi dan penurunan yang tinggi terutama berada pada cekungan endapan Kuarter yang berada di pesisir Bali Selatan. Oleh karena itu potensi bahaya likuifaksi yang diikuti oleh penurunan lapisan tanah di daerah Sanur – Pendungan – Serangan – Benoa, Bali Selatan perlu mendapat perhatian dalam mengkaji keamanan sarana infrastruktur pada bangunan tinggi maupun lainnya. Juga perlunya peningkatan kepadatan tanah sebelum pelaksanaan konstruksi dengan pondasi dalam untuk mengatasi pencegahan penurunan saat gempa bumi besar.



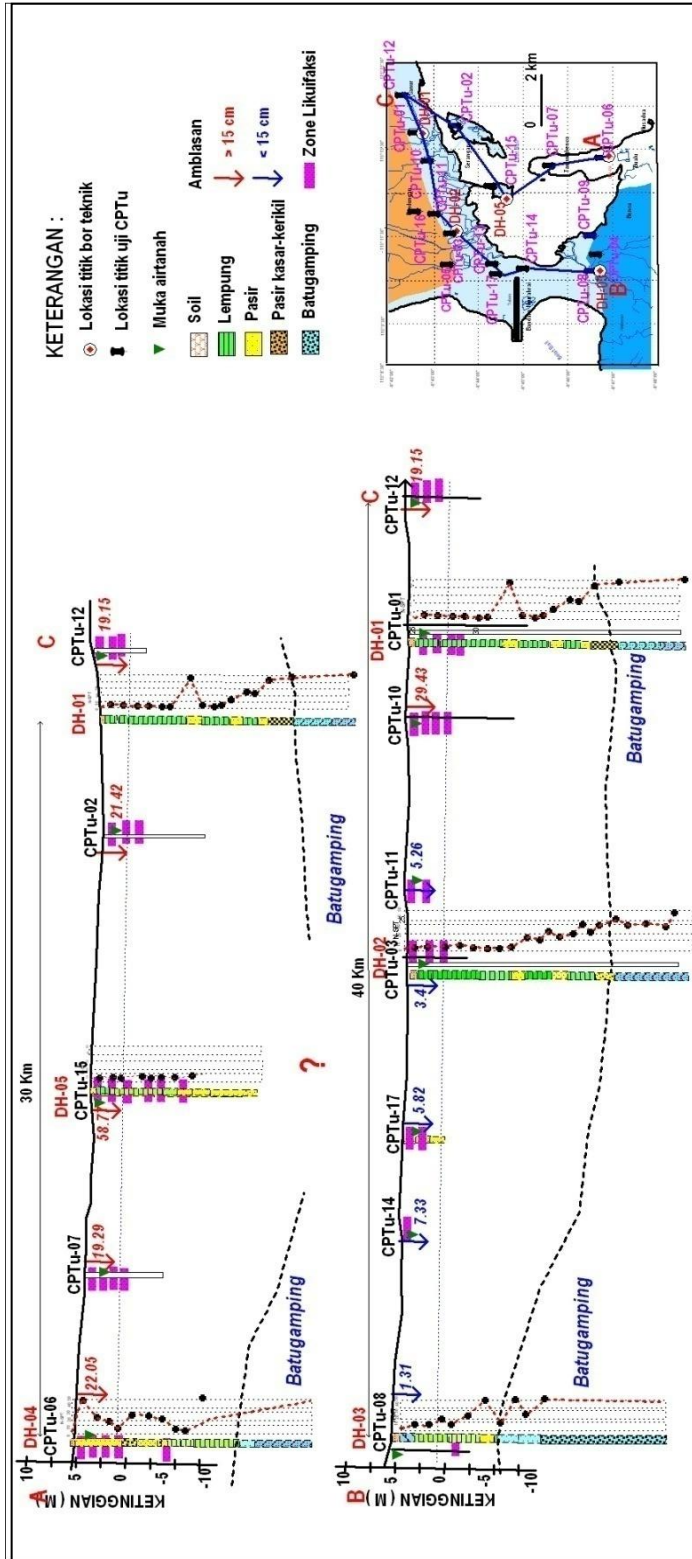
Gambar 1. Penampang geologi bawah permukaan dan sifat keteknikan di daerah Bali Selatan.



Gambar 2. (a) Peta sebaran muka airtanah



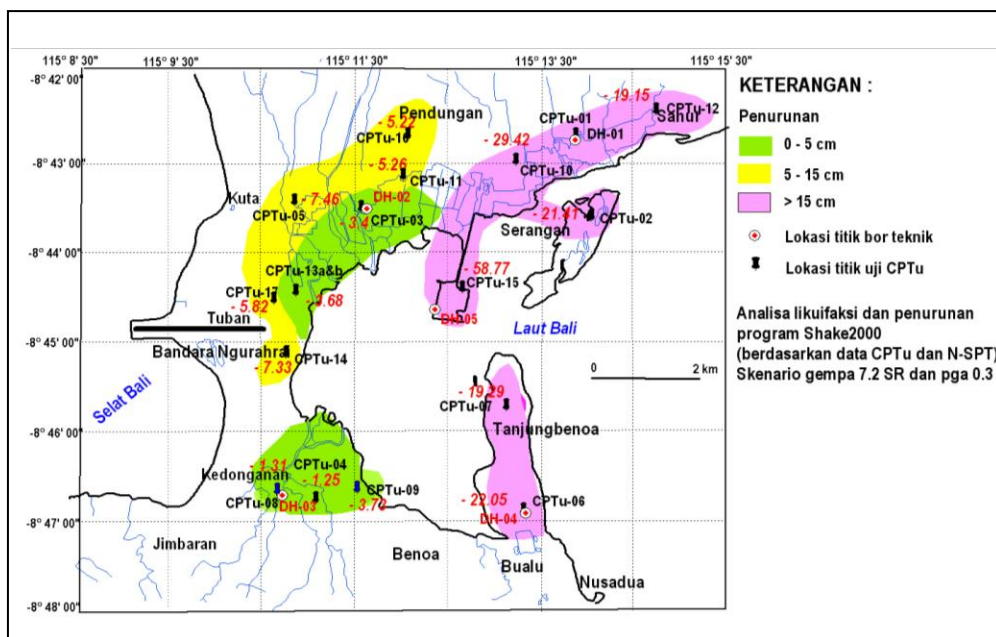
Gambar 2. (b) Distribusi ukuran butiran wilayah Bali Selatan.



Gambar 3. Peta zona likuifaksi dan penurunan lapisan tanah dengan skenario gempa 7.2 SR dan pga 0.3 di Bali Selatan

Tabel 1. Hasil Perhitungan Analisis Potensi Likuifaksi di daerah Bali Selatan berdasarkan data CPTu.

Kode	Lokasi	UTM Zone 49 S			Kedalaman CPT (m)	MAT (m)	Settlement (cm)
		X	Y	Z			
CPTu-01	Wureng	305440	9036510	11	14.80	-1	19.23
CPTu-02	Serangan	305780	9034828	9	13.79	-3	21.42
CPTu-03	Mangrove	301231	9034933	10	8.40	-1	3.4
CPTu-04	Agung Jimbaran	300439	9028861	9	2.40	-3	1.25
CPTu-05	Dekat Matahari	299915	9035040	9	4.88	-1	7.46
CPTu-06	Tanjung	304542	9028711	10	9.95	-3	22.05
CPTu-07	Tanjung	304189	9030851	10	8.21	-4	19.29
CPTu-08	Mertasari	299738	9029056	10	8.64	-0.95	1.31
CPTu-09	Perum Jimbaran	301244	9029099	10	4.94	0.9	3.73
CPTu-10	Perum Benoa	304291	9035945	10	12.58	-0.4	29.43
CPTu-11	Pendulangan	302081	9035630	11	14.40	-1.5	5.26
CPTu-12	Sanur barat	306996	9037050	11	6.72	-0.45	19.15
CPTu-13	Keramik	299979	9033159	11	1.59	-2	3.68
CPTu-14	sel Bandara	299801	9031888	9	2.15	-2	7.33
CPTu-15	Pel.Benoa	303250	9033294	10	20.54	-1.5	58.77
CPTu-16	Pemogan	302106	9036465	10	13.08	-1.1	18.74
CPTu-17	Bandara Uta	299529	9032965	6	3.10	-3	5.82
DH-01	Wureng	305440	9036510	11	30	-1	18.65
DH-02	Mangrove	301231	9034933	10	30	-0.7	3,1
DH-03	Mertasari	299738	9029056	10	30	-1.8	0
DH-04	Tanjung	304542	9028711	9	25	-2	21.32
DH-05	Pelabuhan	303250	9030829	9	25	-3	47.54



Gambar 4. Peta zona penurunan lapisan tanah akibat peristiwa likuifaksi dengan skenario gempa 7.2 SR dan pga 0.3 di Bali Selatan

KESIMPULAN

Wilayah Sanur - Pendungan – Serangan – Benoa, Bali Selatan kondisi geologi bawah permukaan tersusun oleh material pasir, lanau, lempung setempat pasir kasar yang mempunyai ketebalan mencapai 20 – 30 meter, dimana kearah bagian tengah - timur cenderung semakin menebal lapisan pasirnya dengan batuan dasarnya berupa batugamping dari Formasi Selatan.

Hasil perhitungan analisis potensi likuifaksi dan penurunan di daerah ini menunjukkan bahwa hampir semua titik pengujian mengindikasikan terjadinya likuifaksi dan penurunan. Zona likuifaksi terkonsentrasi di bagian tengah daerah studi pada kedalaman kisaran 0,2 - 15 m. Konsentrasi penurunan yang tinggi terutama di daerah Sanur (CPTu-01,10 dan 12), Serangan (CPTu – 02), Benoa (CPTu-15), Bualu (CPTu-06) dan Tanjungbenoa (CPTu-07). Potensi likuifaksi yang diikuti oleh penurunan lapisan tanah di wilayah ini perlu mendapat perhatian dalam pengembangan wilayah, pembangunan infrastruktur bangunan tinggi, sarana jalan dan jembatan untuk mendukung upaya pencegahan bencana gempabumi di masa mendatang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI yang telah memberikan kesempatan dan kepercayaan untuk melakukan penelitian ini. Ucapan yang sama juga disampaikan kepada seluruh pengelola anggaran DIPA tahun anggaran 2010. Juga kepada rekan-rekan teknis GTKK yang telah membantu terlaksananya kegiatan di lapangan dan laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Blake, T.F., 1997. *Formula (4), Summary Report of Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*. Youd, T.L., and Idriss, I.M., eds., Technical Report NCEER 97-0022
- Gustavo, A.O., 2000. *A Computer Program for the 1-D Analysis of Geotechnical Earthquake Engineering Problem*. Shake2000.
- http://www.bmkg.go.id/katalog_gempa
- <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2007/us2007hmas/>
- Indonesian Departement of Public Work (IDPK), 2002. *Indonesiaan Seismic Building Codes*. SNI-1726, 2002, Jakarta, Indonesia.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2010. *Peta Zonasi Gempa Indonesia*. Juli 2010.
- Kramer, S.L., 1996, *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 653.
- Roberson, P.K., dan Wride, B.H., 1989. *Cyclic Liquefaction and the Evaluation Based on the SPT and CPT*. Proceedings edited by Youd and Idriss, 1988, p. 41 – 88.
- Purbo-Hadiwidjojo M.M., Samodera, H. dan Amin, T.C, 1998. *Peta Geologi Lembar Bali, NusaTenggara*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, Departemen Pertambangan dan Energi.

- Seed, H.B. dan Idriss, I.M., 1971. *Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential*. Journal of Soil Mechanics and Foundation, Division, ASCE, vol.97. No.9, pp. 1249 – 1273.
- Sudadi, P., Setiadi, H., Denny,B.R., Arief, S., Ruchijat, S., dan Hadi, S., 1986. *Peta Hidrogeologi Lembar Bali*. Skala 1 : 250.000, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Dep.Pertambangan dan Energi, Bandung.
- Tokimatsu, K. and Seed, H.B., 1987. *Evaluation of Settlement in Sand due to Earthquake Shaking*. Journal of Geotechnical Engineering, Vol.113, No.8, August 1987, pp.861 – 878.
- Youd, T.L., dan Perkins, D.M., 1978. *Mapping Liquefaction-induced ground failure potential*. Journal of Geotechnical Engineering 104, 433 - 446.