Pemodelan 2D perubahan tekanan air pori hubungannya dengan Likuifaksi: Studi kasus Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta

2D Modelling changes in pore water pressures with Liquefaction: A case study Bantul, Yogyakarta

Arifan Jaya Syahbana dan Khori Sugianti

Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung, Indonesia

ABSTRAK

Yogyakarta merupakan daerah rawan gempa bumi. Tanggal 27 Mei 2006 terjadi gempa dengan skala 6,2 Mw yang mengakibatkan banyak berjatuhan korban dan kerugian material. Peristiwa ini juga menimbulkan bahaya sekunder yang lain, yaitu likuifaksi. Penelitian ini menyajikan validasi besaran tekanan angka pori yang dapat memicu likuifaksi dengan analisis 2 Dimensi. Pemodelan disimulasikan menggunakan perangkat lunak Liqit untuk mengetahui profil tanah yang berpotensi likuifaksi dan nilai PGAnya. Nilai PGA diaplikasikan pada program PLAXIS untuk mengetahui perkembangan tekanan air porinya. Hasil simulasi menunjukkan perkembangan tekanan air pori di lokasi penelitian ada yang merata dan terlokalisir. Selain itu pendekatan data SPT akan memberikan efek suatu jenis tanah akan lebih mudah mengalami likuifaksi daripada CPTu. Dengan asumsi lebih mudah mengalami likuifaksi maka sebuah profil yang mengalami likuifaksi akan menghasilkan tekanan air pori yang lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan CPTu pada nilai PGA yang sama. Simulasi dengan data SPT akan menghasilkan perbandingan tekanan air pori terhadap tegangan total tanah sekisar 61%, sementara pada data CPTu akan memberikan hasil sekitar 88%. Secara teoritis, semakin besar perbandingan, maka kemungkinan likuifaksi akan semakin besar.

Kata kunci: likuifaksi, tekanan air pori, 2 dimensi

ABSTRACT

Yogyakarta is the area prone to earthquakes. 27th May 2006 earthquake strucked Yogyakarta with a 6.2 Mw scale which resulted in a lot of many casualties and material losses. This incident also raises the danger of liquefaction. This research presents the validation of pore water pressure quantity which can trigger liquefaction with 2 dimensional analysis. Simulated Modeling using the Liqit software to know the profile of the ground which has liquefaction potential and value of the PGA. PGA value then applied to PLAXIS program to determine the pore water pressure developments. The simulation results show the development of pore water pressure in research location are vary, some evenly and localized. In addition, the SPT data approaches will give the effect of a certain soil type will be more prone to liquefaction than CPTu's one. Assuming more prone to liquefaction, profile will result in smaller pore water

Naskah diterima 25 September 2013, selesai direvisi 6 November 2013 Korespondensi, email: arifanjaya@yahoo.co.id

pressure than compared with CPTu method on same PGA value. When SPT data used, it will produce the pore water pressure ratio against the soil total stress range on the number 61%, while in the CPTu data will give the results number ranging in 88%. Theoretically, the larger the comparison, the greater the possibility of liquefaction will occur.

Keywords: liquefaction, pore water pressure, 2 dimensions

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang rawan bencana alam. Salah satu penyebabnya adalah letak geografis Indonesia yang berada di antara benua Asia-Australia, tempat pertemuan beberapa lempeng benua dan lempeng samudra. Dengan adanya pergerakan lempeng benua tersebut maka sepanjang daerah barat Pulau Sumatera dan selatan Pulau Jawa sering terjadi gempa bumi akibat mekanisme subduksi. Ditambah lagi dengan adanya sesar aktif pada daerahdaerah tertentu, hal ini makin memperparah kondisi kemungkinan terjadinya gempa akibat mekanisme sesar. Gambar 1 menunjukkan letak Indonesia yang mengakibatkan bermunculannya bencana alam gempa bumi (McCaffrey, 2008).

Daerah Bantul, Yogyakarta, merupakan daerah yang dekat dengan sumber zona subduksi dan Sesar Opak. Dengan demikian, daerah ini merupakan daerah yang rawan bencana gempa bumi. Tercatat tanggal 27 Mei 2006 terjadi gempa dengan skala 6,2 Mw yang mengakibatkan banyak berjatuhan korban dan kerugian material. Peristiwa ini juga menimbulkan bahaya sekunder yang lain, di antaranya adalah



Gambar 1. Posisi Indonesia diapit beberapa lempeng benua dan samudra (McCaffrey, 2008).

likuifaksi. Likuifaksi terjadi pada tanah pasiran lepas yang kehilangan kuat dukung efektifnya akibat adanya perubahan tekanan air pori (Mogami dan Kubo, 1953 di dalam Kramer, 1996). Beberapa penelitian mengenai likuifaksi telah dilakukan di daerah ini, di antaranya oleh Soebowo, et al., (2009) yang menyatakan adanya potensi likuifaksi di daerah yang dekat dengan Sesar Opak. Selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Sugianti dan Syahbana (2012) yang meneliti seberapa besar kenaikan tekanan air pori pada lapisan tanah tak berkohesi yang dapat mengakibatkan likuifaksi. Studi kali ini, memvalidasi kembali mengenai besaran tekanan angka pori yang dapat memicu likuifaksi dengan analisis 2 Dimensi. Pada analisis 1 Dimensi yang diteliti adalah tiap titik, sedangkan pada analisis 2 Dimensi dibuat lintasan berdasarkan data pemboran SPT (Standard Penetration Test) dan CPTu (Cone Penetration *Test*) yang telah ada untuk melihat kejelasan struktur geologi dan efeknya terhadap perubahan tekanan air pori.

KONDISI GEOLOGI

Berdasarkan peta geologi lembar Yogyakarta, Jawa (Rahardjo, *et al.*, 1977) daerah penelitian yaitu tersusun oleh Formasi Semilir yang terdiri atas perulangan breksi tuf dan lempung tufan yang berumur Oligo - Miosen. Tidak selaras di atasnya diendapkan berurutan Formasi Nglanggran berupa breksi gunung api, dan tuf yang berumur Miosen Awal-Tengah, Formasi Sambipitu yang terdiri atas tuf, serpih, dan batu lanau, Formasi Wonosari berupa batu gamping terumbu dan batugamping berlapis kalkarenit, dan Formasi Sentolo yang terdiri atas batugamping dan batu pasir napalan. Selanjutnya secara tidak selaras diendapan material vulkanik



Gambar 2. Peta geologi daerah Bantul, dan sekitarnya.

Gunung api Merapi muda berupa tuf, abu, pasir, dan aglomerat serta endapan koluvium dan aluvial yang kesemuanya sebagai endapan kuarter (Gambar 2).

Struktur geologi yang berkembang di daerah dataran Bantul berupa sesar mendatar yang dikenal sebagai sesar Opak yang berarah timur lautbarat daya kurang lebih U 235° T/80°, dengan blok timur relatif bergeser ke utara dan blok barat ke selatan. Lebar zona patahan diduga mencapai kurang lebih 2,5 km. Selain itu ada zona patahan yang berarah barat laut- tenggara dengan kedudukan kurang lebih U 325° T/70° menuju ke arah Gantiwarno. Daerah yang mengalami kerusakan gempa bumi Yogyakarta Sabtu 27 Mei 2006, termasuk dalam dataran Bantul-Klaten (Bemmelen, 1949) yang memanjang mulai Kali Opak hingga barat Klaten.

DASAR TEORI

Pada bagian dasar teori akan dijelaskan mengenai konsep dasar atenuasi, likuifaksi, dan perubahan tekanan air pori.

Atenuasi dan Skala Gempa

Sumber gempa terhadap lokasi penelitian akan diperhitungkan analisisnya menggunakan persamaan Boore dan Atkinson tahun 2008 (Field *et al.*, 2003). Persamaan atenuasi ini cocok untuk daerah dengan sumber gempa berupa struktur geologi sesar (Irsyam *et al.*, 2010; Aldiamar *et al.*, 2010). Untuk mempermudah dalam penghitungan, digunakan program yang dapat menghitung atenuasi, yaitu *Attenuation Relationship Plotter V.1.2.3* (Field *et al.*, 2003). Setelah didapatkan PGA (*Peak Ground Acceleration*) pada lokasi likuifaksi, maka dibuatlah spektrum gempa yang sesuai dengan mekanisme di lokasi penelitian untuk kemudian dianalisis menggunakan PLAXIS.

Perubahan Tekanan Air Pori

Pemodelan dinamik menggunakan program PLAXIS untuk memodelkan suatu lapisan tanah dengan beban dinamis berupa beban gempa yang dipresentasikan dengan adanya *displacement* (perpindahan) pada batuan dasar sebesar 1 cm. Perpindahan ini merupakan fungsi dari spektrum percepatan gempa dengan nilai PGA tertentu. Setelah lapisan tanah diberi beban dinamis, maka besaran tekanan air pori total dapat diperoleh. Selanjutnya titik-titik uji dianalisis pada tiap kedalaman tertentu yang mempunyai potensi mengalami likuifaksi. Persamaan rumus yang digunakan sebagai berikut (Brinkgrave, 2002):

dengan:

B = faktor *Skempton*

Likuifaksi

Sesuai dengan Persamaan Terzaghi mengenai tegangan efektif, maka kondisi saat tegangan efektif tidak mampu lagi menahan beban di

metrik

atasnya akan terjadi likuifaksi. Apabila pada lapisan tanah tersebut tidak terdapat beban eksternal selain tekanan *overburden*, maka nilai Δp yang mendekati atau lebih besar daripada tegangan total (σ) yang terjadi akan mengakibatkan likuifaksi. Persamaan ini dapat dilihat pada Persamaan 2.

$$\sigma' = \sigma - \Delta p$$
(2)

dengan:

σ'	= tegangan efektif
σ	= tegangan total

 Δp = tekanan air pori total

Selama gempa bumi berlangsung dengan percepatan maksimum tertentu pada batuan dasar, maka akan terjadi peningkatan tekanan air pori tanah berlebih (*excess pore water pres*- *sure*) pada lapisan pasir jenuh. Dengan mengetahui tekanan air pori total yang terjadi, maka tegangan efektif yang terjadi akan didapatkan sehingga waktu terjadinya likuifaksi dapat ditentukan.

SIMULASI

Simulasi dilakukan dengan cara membuat lintasan pada titik-titik bor dan CPTu yang terdapat fenomena likuifaksi di lapangan (Gambar 3).

Kondisi stratigrafi bawah permukaan di daerah Bantul dicirikan oleh perulangan satuan pasir yang cukup dominan dengan ukuran butiran mulai halus hingga kasar, lanau, dan lempung serta di beberapa tempat tersebar campuran pasir kerikil dan breksi (Gambar 4). Perulangan lapisan di daerah ini menunjukkan bahwa di



Gambar 3. Peta lokasi likuifaksi daerah Bantul, dan sekitarnya

daerah penelitian telah terjadi proses geologi yang berulang-ulang akibat pengangkatan dan penurunan baik oleh tektonik ataupun oleh proses sedimentasi pada saat pengendapan di masa lampau pada cekungan Bantul (*Bantul Graben*).

Gempa yang terjadi pada tanggal 27 Mei 2006 terjadi dengan magnitude gempa 6,2 Mw dengan episenter pada kedalaman 11,3 km pada koordinat 8,03° LS dan 110,32° BT (anonim, 2006). Model disimulasikan menggunakan perangkat lunak Liqit sampai profil tanah mengalami kemungkinan likuifaksi berdasarkan nilai Indeks Likuifaksi oleh Iwasaki (nilai IL berkisar 5-15). Selanjutnya nilai PGA pada saat gempa diaplikasikan pada program PLAXIS untuk mengetahui perkembangan tekanan air porinya. Dari penelitian ini juga dapat diperkirakan nilai PGA pada batuan dasar pusat gempa berdasarkan atenuasi Boore dan Atkinson tahun 2008. Batuan dasar yang dimaksud disini adalah profil tanah paling bawah dalam setiap model. Hasil simulasi Liqit untuk mengetahui nilai PGA ambang batas likuifaksi yang kemungkinan terjadi disajikan pada Tabel 1.



Gambar 4. Stratigrafi bawah permukaan daerah Bantul dan sekitarnya.

Tabel 1. Nilai PGA batuan dasar ambang likuifaksi pada lokasi penelitian

No	T - 1:	Коог	dinat	Jarak episenter	PGA batuan dasar (g)	
	LOKasi	Х	Y	(km)	Ambang likuifaksi	
1	CPTu05 Kembangsono	429462	9123566	12,07	0,35	
2	CPTu06 Karangtalun	430085	9123778	12,50	0,31	
3	DH01 Sawahan	427056	9122432	10,30	0,14	
4	DH02 Pulokadang	430232	9125354	14,02	0,17	
5	DH04 Soronagan	426436	9119464	7,27	0,11	

Berdasarkan kombinasi jarak terjauh dari episenter dan lokasi dengan nilai PGA terbesar sebagai batas PGA yang terjadi, maka dipilih lokasi CPTu05 Kembangsono sebagai acuan. Dengan menggunakan atenuasi Boore dan Atkinson tahun 2008 untuk sesar *strike slip*, maka diperoleh hasil pada Gambar 5. Atenuasi puncak (PGA) simulasi yang akan diaplikasikan pada PLAXIS dapat diamati pada grafik PGA simulasi sebagaimana terlihat Tabel 2.

ANALISIS PEMODELAN

Pemodelan perkembangan tekanan air pori dilakukan dengan mengambil batasan panjang model sepanjang 100 m. Hal ini dilakukan karena keterbatasan Program PLAXIS dalam menganalisis suatu model. Ilustrasi simulasi untuk lokasi DH 01 Sawahan dapat diamati pada Gambar 6. Di sini model dikenakan beban gempa dengan cara dipasang *prescribe displacement* sebagai beban dinamik sebesar 1 cm. Dikarenakan keterbatasan data, maka gempa yang dipilih adalah modifikasi dari Gempa *Coyote* yang memiliki propertis gempa yang diakibatkan oleh mekanisme *Strike Slipe Fault*. Hal ini mirip dengan mekanisme Gempa Bantul pada tanggal 27 Mei 2006.

Lapisan pasir dikondisikan *undrained* karena saat terjadi gempa, pasir tidak dapat meloloskan air yang ada pada ruang antara butirnya,



Gambar 5. Atenuasi untuk lokasi penelitian.

Tabel 2. Nilai PGA batuan dasar simulasi pada lokasi penelitian

No	I - h:	PGA batuan dasar (g)		
	Lokasi	Simulasi		
1	CPTu05 Kembangsono	0,35		
2	CPTu06 Karangtalun	0,34		
3	DH01 Sawahan	0,37		
4	DH02 Pulokadang	0,32		
5	DH04 Soronagan	0,43		

sehingga perubahan tekanan air pori dapat diketahui. Selanjutnya, likuifaksi yang diperkirakan terjadi pada kedalaman tertentu dianalisis dengan menggunakan program *Liqit* dan dibandingkan dengan program PLAXIS. Pada Tabel 3 disajikan data sifat mekanika tanah yang digunakan sebagai parameter dalam pemodelan PLAXIS antara lain berat jenis tanah (γ), berat jenis jenuh (γ sat), permeabilitas (k), *modulus young* (E), sudut geser dalam (φ)



Gambar 6. Contoh pemodelan PLAXIS untuk mengetahui perubahan tekanan air pori akibat Gempa Bantul 2006 (Lokasi DH01 Sawahan).

Tabel 3. Sifat mekanika tanah untuk pemodelan PLAXIS

No.	Lokasi	Berat jenis, γ (kN/m³)	Berat jenis jenuh, γ sat (kN/m³)	Permeabi- litas, kx=ky (m/s)	Modolus Young, E (kPa)	Poisson Ratio, v	Kohesi, c (kPa)	Sudut ge- ser dalam, φ (°)
1.	CPTu05 Kembangsono							
	• Pasir-1	19	19,5	2,9E-05	8,0E+04	0,30	1,0E-04	20
	• Pasir-2	18,5	19	2,9E-04	8,3E+04	0,30	1,0E-04	20
	• Pasir-3	17,5	18	2,9E-05	7,6E+04	0,30	1,0E-04	20
2.	CPTu06 Karangtalun							
	• Pasir-1	17,5	18	5,9E-04	3,4E+04	0,30	1,0E-04	20
	• Pasir-2	18,5	19	3,2E-04	8,3E+04	0,30	1,0E-04	20
	• Pasir-3	17,5	18	4,4E-04	7,6E+04	0,30	1,0E-04	20
3.	DH01 Sawahan							
	• Pasir-1	18,5	19	4,9E-05	1,2E+04	0,30	1,0E-04	3,44
	• Pasir lanauan	16,5	17	4,9E-07	4,8E+03	0,30	42	0
	• Pasir-2	19,5	20	6,4E-05	3,5E+04	0,30	1,0E-04	16,62
4.	DH02 Pulokadang							
	• Pasir-1	19	19,5	1,7E-04	2,0E+04	0,30	1,0E-04	9,08
	• Pasir-2	19	19,5	1,4E-04	1,5E+04	0,30	1,0E-04	5,98
	• Pasir-3	19,5	20	1,4E-04	3,5E+04	0,30	1,0E-04	16,62
	• Pasir-4	19,5	20	8,1E-05	3,5E+04	0,30	1,0E-04	16,62
5.	DH04 Soronagan							
	• Pasir-1	18,5	19	2,6E-04	9,1E+03	0,30	1,0E-04	1,12
	• Pasir-2	19,5	20	1,0E-04	3,5E+04	0,30	1,0E-04	16,62
	• Pasir-3	19,5	20	4,9E-05	2,0E+04	0,30	1,0E-04	9,08
	 Lempung pasiran 	17	17,5	4,9E-07	6,0E+03	0,30	52,5	0
	• Pasir-4	19,5	20	6,4E-05	1,3E+04	0,30	1,0E-04	4

yang diperoleh dari data CPTu dengan menggunakan *software* CPeT-IT. Sedangkan nilai *poisson ratio* (v) dan kohesi (c) diasumsikan dengan jenis tanah dari data pemboran dan CPTu.

Setelah diolah dengan program *Liqit*, maka diperoleh kedalaman yang berpotensi likuifaksi. Selanjutnya dengan profil yang sama, disimulasikan dengan program PLAXIS dan ditinjau titik-titik yang berpotensi likuifaksi tersebut. Hasil simulasi digunakan untuk mengamati perkembangan tekanan berlebih air pori. Dengan melihat kontur warna tekanan air pori berlebih pada hasil PLAXIS maka dapat diamati daerah mana saja yang mengalami fenomena likuifaksi untuk kedalaman yang sama. Sebagai contoh DH01 Sawahan disajikan pada Gambar 7, kesembilan titik tinjauan dipilih berdasarkan hasil dari *Liqit* yang menunjukkan kedalaman tersebut berpotensi likuifaksi dan yang sesuai dengan nodal yang terbentuk pada PLAXIS.

Pada Gambar 7 dapat kita lihat pada elevasi A, B, C, F, G, dan H ada kemungkinan terjadi likuifaksi pada semua area tersebut. Hal ini diindikasikan dengan warna yang sama (hijau muda) berarti tekanannya relatif sama. Sedangkan pada elevasi D, E, dan I, likuifaksi hanya akan dimungkinkan pada area dengan warna kuning muda saja. Mengingat tekanan yang dibutuhkan untuk likuifaksi hanya terkonsentrasi pada area tertentu saja, sementara yang lainnya mempunyai tekanan air pori berlebih yang lebih rendah. Dengan cara yang sama, yaitu mengamati kontur dan membandingkannya dengan titik tinjauan awal, maka dapat ditentukan daerah yang mengalami likuifaksi. Pada Gambar 8 disajikan hasil analisis tekanan air pori berlebih untuk lintasan Kembangsono, Karangtalun, Pulokadang, dan Soronagan.



Gambar 7. *Shading* perkembangan tekanan air pori berlebih sebagai akibat gempa di daerah Sawahan Juli – 19 September 2012.



Gambar 8. Hasil analisis PLAXIS mengenai perkembangan tekanan air pori berlebih pada tiap lintasan a) CPTu Kembangsono, b) CPTu Karangtalun, c) DH02 Pulokadang, dan d) DH04 Soronagan.





Gambar 8. Hasil analisis PLAXIS mengenai perkembangan tekanan air pori berlebih pada tiap lintasan a) CPTu Kembangsono, b) CPTu Karangtalun, c) DH02 Pulokadang, dan d) DH04 Soronagan (Lanjutan).

Hasil analisis tekanan air pori berlebih daerah Kembangsono menunjukkan bahwa untuk kedalaman poin A akan terjadi likuifaksi secara merata dan kedalaman poin B hanya pada area warna hijau dengan tekanan air pori 35 kPa. Pada lokasi Karangtalun, kejadian likuifaksi di kedalaman poin A relatif merata dan B terlokalisir pada area warna hijau dengan tekanan air pori 50 kPa. Daerah Pulokadang, likuifaksi pada kedalaman poin A dan B akan terjadi secara merata. Sedangkan daerah Soronagan mengindikasikan bahwa pada kedalaman poin A-D akan terjadi likuifaksi yang merata pada kedalaman tersebut, sedangkan pada kedalaman poin E-G hanya akan terjadi likuifaksi pada area hijau dan kuning dengan tekanan air pori 12-16 kPa.

Pada Gambar 9 dapat dilihat sebagai contoh perkembangan tekanan air pori selama gempa pada lokasi DH01 Sawahan yang terjadi likuifaksi pada beberapa kedalaman berdasarkan titik tinjauan pada Gambar 7. Dalam Gambar 9 tampak tekanan air pori berlebih bernilai negatif, hal ini karena PLAXIS mengasumsikan tekanan yang bersifat kompresif mempunyai tanda negatif (Chao et al., 2012). Respon kenaikan tekanan air pori juga dapat diamati pada simulasi ini, yaitu terdapatnya perbedaan respon pada tiap nodal yang ditinjau. Respon ini lebih dipengaruhi karakteristik tanah itu sendiri. Mengenai waktu saat terjadi puncak tekanan air pori terdapat perbedaan pada tiap kedalaman. Hal ini disebabkan adanya asumsi



Gambar 9. Contoh perkembangan tekanan air pori berlebih pada titik tinjauan berdasarkan Program Liqit pada lokasi DH 01 Sawahan.

energi gempa merambat dari batuan dasar ke permukaan secara vertikal ke atas. Sebagai contoh pada daerah Sawahan poin A diperoleh waktu saat terjadi puncak tekanan adalah 4,572 detik diikuti poin B 4,428 detik, poin C sampai dengan H 4,932 detik, dan point I 4,14 detik. Hasil ini cocok dengan penelitian Sugianti dan Syahbana (2012) yang menyatakan



Gambar 10. Perkembangan tekanan air pori berlebih (a) Karangtalun (b) Kembangsono (c) Pulokadang (d) Soronagan.

respon terjadinya likuifaksi bisa dimungkinkan berbeda waktu. Pada lokasi yang lain perilaku perkembangan air pori berlebih dapat diamati pada Gambar 10. Lokasi tersebut yang mengindikasikan hal yang sama dengan daerah Sawahan, yaitu terjadinya puncak kenaikan tekanan air pori tidak bersamaan Pada hasil pemodelan perkembangan tekanan air pori menggunakan PLAXIS, diperoleh kecenderungan tekanan air pori berlebih membesar seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini tampak pada kelima lokasi yang ditinjau, akan tetapi pada beberapa lokasi terdapat anomali, yaitu menurunnya tekanan air pori ini pada titik yang ditinjau, yaitu kedalaman 10,2 m pada lokasi DH04 Soronagan. Hasil simulasi lokasi yang lainnya disajikan pada Tabel 4.

ini dimungkinkan karena adanya perbedaan pendekatan yang dilakukan. Pendekatan data SPT memberikan efek suatu jenis tanah akan lebih mudah mengalami likuifaksi daripada CPTu. Dengan asumsi lebih mudah mengalami likuifaksi maka sebuah profil yang mengalami likuifaksi akan menghasilkan tekanan air pori yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan perhitungan CPTu pada nilai PGA yang sama. Penggunaan data SPT menghasilkan perbandingan yang berkisar pada angka 61%, sementara pada data CPTu memberikan hasil angka berkisar di 88%. Secara teoritis, semakin besar perbandingan, maka kemungkinan likuifaksi akan semakin besar.

	8	1 8 8	7 8 8	
No	Lokasi	Tekanan total air pori minimum (kPa)	Tegangan total tanah (kPa)	Perbandingan (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(3)/(4) x 100
1	CPTu05 Kembangsono	71,30	76,05	93,76
2	CPTu06 Karangtalun	138,31	188,95	83,14
3	DH01 Sawahan (SPT)	145,71	226,7	64,27
4	DH02 Pulokadang (SPT)	37,69	58,5	64,42
5	DH04 Soronagan (SPT)	41,32	70,3	58,77

Tabel 4. Perbandingan minimal tekanan air pori total dan tegangan total tanah yang mengakibatkan likuifaksi

Disini dapat diamati perbandingan antara tekanan air pori total minimum dan tegangan tanah total yang dapat memicu likuifaksi selama gempa. Dari hasil perbandingan tekanan air pori total tersebut dapat diamati bahwa penggunaan data SPT (pada lokasi Sawahan, Pulokadang, dan Soronagan) menghasilkan angka yang lebih kecil dibandingkan dengan data CPTu (Kembangsono dan Karangtalun). Hal

KESIMPULAN

Pada semua lokasi penelitian yang teridentifikasi mengalami semburan pasir sebagai salah satu ciri fenomena likuifaksi, diperoleh hasil perbandingan tekanan air pori terhadap tegangan total tanah berturut-turut sebesar kurang lebih 61% dan 88% untuk data SPT dan CPTu. Perbedaan yang timbul dimungkinkan karena adanya perbedaan pendekatan perhitungan likuifaksi. Perambatan energi gempa mengakibatkan perbedaan waktu pada tiap titik tinjauan yang mengalami likuifaksi. Analisis 2D likuifaksi menggunakan Program PLAXIS dapat memperkaya hasil dari Program Liqit, yaitu dengan memperkirakan area mana saja yang akan mengalami likuifaksi pada kedalaman tertentu dan menambah keterangan perbandingan tekanan air pori terhadap tegangan total tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Eko Soebowo atas kesediaanya dalam memberikan izin untuk menganalisis data pemboran dan CPTU daerah bantul, dan kepada seluruh redaksi Jurnal Lingkungan Bencana Geologi serta rekan-rekan yang telah membantu sehingga tulisan ini dapat diselesaikan.

ACUAN

Aldiamar, F., Ridwan, M., Asrurifak, M. dan Irsyam, M., 2010. Analisis Dan Evaluasi Faktor Amplifikasi Percepatan Puncak Gempa Di Permukaan Tanah (Analysis And Evaluation Of Peak Ground Acceleration Amplification Factor On Ground Surface), *Jurnal Jalan-Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum.* Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Bandung, pp. 180-194.

Anonim, 2006, Gempa Bumi Yogyakarta 2006. http://id.wikipedia.org/wiki-/Gempa_bumi_Yogyakarta_2006, diakses tanggal 3 Januari 2013.

Bemmelen, R.W.Van., 1949. *The Geology Indonesia*, Tha Hague Martinus.

Brinkgrave, R.B.J., 2002. *Reference_Manual_V8, Manual of PLAXIS*, A.A Balkema Publishers, Netherland, ISBN 90 5809 508 8.

Chao, L., Dupray, F., dan Laloui, L., 2012. *Preparation of soil slope failure related to seismic shaking 2D sensitivity analysis of a case study in Grächen*, CO-GEAR: Coupled seismogenic GEohazards in Alpine Regions MODULE 3 – Deliverable 3b.3.7, Switzerland.

Field, E.H., Jordan, T.H., dan Cornell C.A., 2003. Open SHA: *A Developing Community-Modeling Environment for Seismic Hazard Analysis*, Seismological Research Letters, 74, no. 4, p. 406-419.

Irsyam, M., Sengara, W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Natawijaya, D.H., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono, Asrurifak, M. dan Ridwan, M., 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*, Bandung.

Kramer, S.L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice-Hall.inc, New Jersey, 349pp

McCaffrey, R., 2008. *The Tectonic Framework of the Sumatran Subduction Zone*, Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2009. 37:345–366.

Rahardjo, Wartono, dan Sukandarrumidi, Rosidi, H.M.D., 1977. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, Skala 1: 100.000*. Direktorat Geologi. Departemen Pertambangan Republik Indonesia.

Soebowo, E., Tohari, A., dan Sarah, D., 2009, Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Berdasakan Data CPT dan N-SPT di daerah Patalan Bantul Yogyakarta, *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, Jilid 19 No. 2, pp.85-97.

Sugianti, K. dan Syahbana, A.J., 2012, Pemodelan Numerik Tekanan Air Pori sebagai Respon Lapisan Tanah yang Berpotensi Likuifaksi Studi Kasus: Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, Bunga Rampai Buku Menyingkap Tabir Fenomena Bencana Seismik di Indonesia, Bandung, pp.121-135.