

PREDIKSI PENCAIRAN TANAH AKIBAT GEMPA DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA (011G)

John T. Hatmoko¹ dan Hendra Suryadharma²

*Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari No. 44, Yogyakarta
Email : john@staff.uajy.ac.id*

ABSTRACT

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) is one of the region in Indonesia that potentially have earthquake disaster. In geotechnic point of view, soil profile in DIY, especially, in the city of Yogyakarta is covered by sand layer up to the depth of 60 meter. The soil is uniformly graded sand with low of N-SPT values near the ground surface, and it gets higher on the deep elevation. Groundwater level at the elevation of 12 meter during the dry seasons and getting higher up to the depth of 4 meters during rainy seasons. Therefore, based on the condition of soil profile, groundwater level and N-SPT value, it is possible that there will be liquefaction in DIY. The research was conducted to predict the liquefaction that may happen in DIY. In this research, the data were collected the form of boring-log, and Standard Penetration Test (SPT). There were more than 10 boring, and 10 SPT data collected from the north of DIY. Moreover, the additional required data such as mechanical properties of the soil were tested in the Soil Laboratory Department of Civil Engineering Universitas Atma Jaya Yogyakarta. The soil data, then analyzed by means of the method developed by NCEER. The results indicates that the CSR obtained from the previous earthquake data are relatively smaller compared to the CRR for every elevation. It is probably due to horizontal acceleration-gravitation ratio (0.03; 0.088; 0.116; 0.123; and 0.142), and total – effective stress ratio are very small. From CRR-CSR ratio, there were no liquefaction zone in the specific depth. However, in the future if there is earthquake that generates horizontal acceleration more than 0.2 g, there will probably be liquefaction in DIY.

Keywords : liquefaction, CSR, CRR, N-SPT, sand

1. PENDAHULUAN

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan bagian dari busur kepulauan Sumatera, Jawa dan Nusa Tenggara yang terbentuk akibat proses subduksi dari lempeng Pasifik dan Australia kebawah lempeng Eurasia. Proses ini tidak hanya menimbulkan aktivitas tektonik saja melainkan juga aktivitas vulkanik oleh keberadaan gunung Merapi yang sangat aktif (*Newcomb, K.R, 1987*). Dengan demikian Yogyakarta merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang rawan gempa. Secara geografis, Yogyakarta terletak pada 7.80 derajat Lintang Selatan dan 110.34 derajat Bujur Timur terletak pada palung Jawa. Oleh sebab itu, Yogyakarta dipengarui oleh gempa-gempa yang terjadi pada busur Sunda. Secara geologik pada umumnya tanah di Yogyakarta merupakan lapisan tanah pasir yang sangat tebal sampai dengan kedalaman 60 meter dari permukaan tanah. Gradasi tanah pasir relatif seragam dengan nilai N-SPT cukup rendah pada daerah dekat permukaan. Muka air tanah terletak pada kedalaman sekitar 12 meter pada musim kemarau dan naik menjadi sekitar 4 sampai 6 meter pada saat musim penghujan. Jenis pelapisan tanah tersebut serta kondisi muka air tanahnya akan sangat mungkin terjadinya peristiwa pencairan tanah (*liquefaction*) pada saat terjadi gempa. Menurut *Seed(1966, 1984, 1990)*; *Idriss(1971, 1986, 1990)* ; *Gupta (1979)*, potensi terjadinya peristiwa *liquefaction* mempertimbangkan beberapa hal : gradasi tanah pasir, kepadatan relatif, nilai N-SPT, karakteristik getaran dan lain sebagainya. Penelitian ini bertujuan memprediksi potensi *liquefaction* yang kemungkinan besar akan terjadi di Daerah Istimewa Yogyakarta. Data penelitian ini merupakan data primer hasil pengujian *Bor dalam* dan hasil pengujian *Standar Penetration Test (SPT)*. Disamping itu juga dilakukan pengujian sifat-sifat fisik tanah (berat volume, gradasi, berat jenis, batas-batas konsistensi) dan sifat-sifat mekaniknya dilakukan pengujian di Laboratorium.

Peristiwa pencairan tanah pada saat terjadi gempa atau yang dikenal dengan peristiwa *liquefaction* secara intensif baru ditekuni setelah peristiwa gempa yang terjadi di Alaska (April, 1964) dan gempa yang terjadi di Niigata, Jepang (Juni, 1964). Setelah kedua peristiwa gempa tersebut, penelitian mengenai *liquefaction* dilakukan secara intensif. Pada penelitian ini akan di review perkembangan penelitian mengenai *liquefaction* pada kurun waktu dua puluh tahun terakhir. Perilaku tanah pasir jenuh diuji didalam alat uji triaksial. Hasil sangat kontradiktif pada kepadatan relatif sampai dengan 60%. Hal ini menunjukkan adanya respons anisotropis pada kondisi pembebanan takterdrainase. Pada beban monotonik diikuti peristiwa *liquefaction*, tanah pasir berperilaku mengembang walaupun

pada kondisi pembebanan statik sangat kontraktif (Vaid, 1995). Perilaku tanah pasir setelah liquefaction menunjukkan kekakuan yang meningkat dengan tidak mempertimbangkan kepadatan relatif ataupun tegangan efektif sebelum pembebanan siklik (Bartlett and Youd, 1995). Pengaruh kandungan kerikil didalam pasir dalam meningkatkan tahanan terhadap liquefaction pada campuran pasir-kerikil. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian triaksial siklik pada campuran pasir-kerikil, dengan kandungan kerikil: 0%, 20%, 40%, 60% dan 100%. Semakin tinggi kandungan kerikil tahanan terhadap liquefaction meningkat (Evans and Zou 2005, Liang 1995).

Stark and Olson (1995) mengusulkan penggunaan data sondir untuk mengevaluasi potensi liquefaction. Pengujian dilakukan berdasarkan pada 180 kasus-kasus baik yang terjadi liquefaction maupun tidak terjadi liquefaction. Hubungan antara data sondir yang diusulkan, dikembangkan untuk menggambarkan kasus-kasus yang terjadi di lapangan yang memiliki data sondir. Konversi dari data sondir ke data SPT untuk mengevaluasi potensi liquefaction juga diusulkan. Mereka menyimpulkan bahwa nilai sondir nampak lebih baik dalam hal mengevaluasi potensi liquefaction dibandingkan dengan nilai N-SPT disebabkan uji sondir lebih standar, mudah direproduksi, dan murah.

Amini and Qi (2000) membandingkan perilaku tanah pasir kelanauan homogen dengan tanah pasir kelanauan berlapis pada saat terjadi liquefaction dengan kadar lanau serta tegangan keliling yang bervariasi. Pengujian triaksial siklik dilakukan sebanyak 150 macam kontrol tegangan. Kandungan lanau berkisar antara 10-50% dengan tegangan keliling antara 50-250 kPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tahanan terhadap liquefaction hampir tidak ada perbedaan antara tanah homogen dengan tanah berlapis.

Liu and Stewart (2008) mengembangkan pendekatan empiris dengan analisis regresi yang dapat digunakan untuk mengevaluasi jumlah tegangan siklik uniform (N) dari guncangan gempa sebagai fungsi dari: magnitude, jarak sumber gempa, dan kondisi lapangan. Harga N berdasarkan pada factor-factor yang spesifik yang berkaitan dengan permasalahan liquefaction akibat gempa. Databae yang digunakan terdiri dari 1528 data lapangan tentang gerakan tanah yang dicatat dari 107 gempa yang berbeda, dengan magnitude berkisar antara : 4,7 sampai dengan 7,6 skala Richter dengan jarak dari pusat gempa berkisar antara 0 sampai dengan 200 km. Hasil pendekatan adalah sebagai berikut: nilai median N yang dekat dengan pusat gempa dapat dievaluasi dengan sempurna, sedangkan koefisien regresi yang direkomendasikan merupakan nilai kesalahan standar.

Lai, S.Y., et. All (2004) membuat model statistik untuk mengevaluasi potensi liquefaction dengan menggunakan data Cone Penetration Test (Sondir). Sebanyak 399 data sondir dikumpulkan yang terdiri dari 174 data diambil pada saat terjadi gempa di Taiwan, sedangkan 225 data lainnya dikumpulkan dari berbagai sumber. Model diskriminan yang dikembangkan dari statistika multivariate dengan menggunakan parameter utama : tahanan konus (q_c), dan nilai lekatan (R_f). Hasil penelitian menunjukkan bahwa CRR yang diperoleh lebih besar dari yang diperoleh Olson (1997), namun demikian lebih kecil dari yang diperoleh Robertson and Wride (1997).

Cetin, K.O., et. all (2004) meneliti tentang liquefaction yang terjadi disepanjang pantai pada teluk Izmit-Turkey, pada saat terjadi gempa pada tahun 1999. Cetin mendiskusikan hal-hal sebagai berikut: pergerakan tanah yang terjadi setelah gempa; hasil penelitian lapangan dengan boring dan indeks pengujian lapangan; analisis pergerakan lateral dengan menggunakan dua buah pendekatan empiris dan satu buah pendekatan semiempiris, yang pada akhirnya; membandingkan hasil antara pengamatan di lapangan dengan hasil perhitungan mengenai pergerakan tanah. Ketiga model yang digunakan menunjukkan hasil yang tidak konsisten. Metode semiempiris memprediksi terlalu tinggi. Sedangkan dua metode empiris: satu metode overprediksi sedangkan metode yang satunya lagi memprediksi terlalu rendah.

Hatmoko, John T (2002) melakukan penelitian data sekunder mengenai probabilitas terjadinya liquefaction pada tanah pasir lepas. Data sekunder diambil dari daerah Kabupaten Bantul DIY yang berupa data cone penetration test (sondir). Metode yang digunakan adalah metode Idriss, 1971. Dengan menggunakan metode tersebut diperoleh bahwa probabilitas terjadinya liquefaction berkisar antara 3 sampai dengan 5% setiap tahunnya. Harga tersebut diperoleh dengan amplitud regangan 6% dan 20 siklus pembebanan.

Hatmoko, John, T (2005) melakukan penelitian data sekunder dengan menggunakan 30 data sondir dan 8 hasil bor dangkal. Data diambil dari pembangunan kampus FISIP UAJY. Dengan menggunakan data tersebut, hasil menunjukkan rasio antara CSR dengan CRR cukup kecil (antara 0,32 s.d. 0,65) pada setiap kedalaman, sehingga tidak ada zona liquefaction pada setiap kedalaman. Namun demikian, jika dimasa yang akan datang terjadi gempa dengan magnitude lebih besar dari 8, maka pada zona kedalaman 0,00 s.d. 13,00 terjadi liquefaction yang ditunjukkan oleh rasio antara CSR dengan CRR 1,23 s.d. 1,49.

2. METODE PENELITIAN

Pengujian lapangan yang dilakukan adalah pengujian Bor dalam yang dilengkapi dengan pengujian *Standard Penetration Test (SPT)*. Studi lapangan dilakukan pada 7 (tujuh) lokasi di Daerah Istimewa Yogyakarta bagian utara. Lokasi 1 adalah pembangunan Auditorium Universitas Sanata Dharma di Jl Affandi (2 buah titik Bor masing-masing pada kedalaman 20 meter). Lokasi 2 adalah : peningkatan jembatan Sungai Gajah Wong (1 buah titik bor sedalam 25 meter). Lokasi 3 adalah proyek Bank Sinar Mas di jalan Ring Road Utara, Mancasan Indah,

Condong Catur (1 buah titik bor dengan kedalaman 25 meter); lokasi 4 adalah Proyek pembangunan Hotel Hartono Life Style di Ring Road Utara (5 buah titik bor masing-masing pada kedalaman 30 meter). Lokasi 5 adalah proyek pembangunan Hotel Magelang di Jln. Magelang (1 buah titik bor dengan kedalaman 30 meter). Sedangkan lokasi 6 dan 7 adalah proyek Hotel Bintang 3 di Jalan Magelang (2 buah titik bor dengan kedalaman 20 meter), dan lokasi 7 adalah proyek Sabo Dam di Sleman (5 buah titik Bor dengan kedalaman masing-masing 10 meter). Pengujian-pengujian Bor Dalam tersebut diatas dilengkapi dengan pengujian *Standard Penetration Test (SPT)* sampai dengan kedalaman yang sama dengan kedalaman pengeboran.

Studi Laboratorium dilakukan pada tiap-tiap titik bor. Setiap titik bor minimal diambil 2(dua) buah sampel pada kedalaman yang berbeda. Satu sampel pada kedalaman di atas muka air tanah, sedangkan satu sampel lainnya terletak di bawah muka air tanah. Pada kedalaman-kedalaman tersebut dicari berat jenis (*specific gravity*), berat volume basah, berat volume kering, kadar air, gradasi butiran, koefisien keseragaman, kepadatan relative, dan kadar fraksi halus. Standard pengujian untuk parameter-parameter tersebut mengikuti SNI atau ASTM. Setelah data Lapangan dan laboratorium diperoleh, kemudian dilakukan analisis.

Analisis liquefaction menggunakan model *simplified method* yang diusulkan oleh Seed and Idriss (1971) dan yang telah disempurnakan oleh National Center of Earthquake Engineering Research (NCEER) yang telah menyelenggarakan workshop tiga kali yaitu di tahun 1996, 1998 dan di tahun 2003 yang khusus membahas analisis ketahanan tanah terhadap *liquefaction* (CRR). Dari konferensi tersebut dihasilkan penyempurnaan metode-metode terdahulu seperti yang diusulkan oleh: Seed and Idriss(1971), Reberson and Wride (1998), dan lain-lain . Untuk hal tersebut, didalam paper ini diambil contoh 2 titik bor dilokasi 1 (B1-1), dan di lokasi 4 (B4-5).

3. HASIL STUDI LAPANGAN DAN LABORATORIUM

a. Lokasi 1

Di lokasi 1 , dilakukan titik pengujian bor (B1-1; B1-2)) dalam (20,00 meter). Pada masing-masing titik bor tersebut diambil sampel tanah untuk diuji di laboratorium. Muka air tanah pada -12,50 meter, sampel tanah diambil pada kedalaman 3,00 meter dan 8,00 meter, dan pada 15,00 meter. Menurut hasil pengujian bor dalam, pada kedalaman 8,00 meter tanah berupa pasir kelanauan, dan pada kedalaman 15,00 meter tanah berupa pasir kasar. Pengujian laboratorium yang dilakukan pada sampel tanah tersebut adalah : analisis saringan, berat jenis, berat volume dan kuat geser tanah (dengan pengujian geser langsung). Berikut adalah hasil-hasil pengujian laboratorium tersebut. Hasil analisis saringan menunjukkan bahwa koefisien keseragaman ($C_u = 2$) dan koefisien gradasi ($C_c = 2$), sehingga tanah ini, menurut USCS, adalah tanah pasir bergradasi buruk (SW). Tanah jenis ini jika dalam keadaan jenuh berpotensi mengalami liquefaction

Tabel 1. Hasil pengujian Bor dalam dan SPT untuk B1-1 dan B1-2

Kedalaman (m)	B1-2				B1-1			
	Jenis Tanah	G	N-SPT	$\gamma(t/m^3)$	Jenis Tanah	G	N-SPT	$\gamma(t/m^3)$
1,00 – 2,50	Pasir sedang	2,62	9	1,82	Pasir sedang	2,62	10	1,82
2,50 – 4,50	Pasir kasar	2,62	15	1,82	Pasir kasar	2,62	20	1,82
4,50 – 6,50	Pasir halus	2,62	18	1,82	Pasir halus	2,62	20	1,82
6, 50 – 8,50	Pasir kelanauan	2,62	18	1,82	Pasir kelanauan	2,62	17	1,82
8,50 – 10,50	Pasir kasar	2,62	22	1,82	Pasir kasar	2,62	21	1,82
10,50 – 12,50	Pasir sedang	2,62	21	1,82	Pasir sedang	2,62	34	1,82
12,50 – 14,50	Pasir halus	2,60	26	2,15	Pasir halus	2,60	25	2,15
14,50 – 16,50	Pasir kasar	2,60	35	2,15	Pasir kasar	2,60	41	2,15
16,50 – 18,50	Batu pasir	2,60	50	2,15	Batu pasir	2,60	50	2,15
18,50 – 20,00	Batu pasir	2,60	50	2,15	Batu pasir	2,60	50	2,15
M. A. T	-12,50							
Sampel	-3,00	-8,00	-15,00	-3,00	-8,00	-15,00	-15,00	

Hasil pengujian bor dalam dan SPT menunjukkan bahwa di permukaan (kedalama -1,00 sampai dengan -8,00) memiliki nilai N rendah antara 9 sampai dengan 20. Kenyataan tersebut kemungkinan disebabkan oleh dua hal. Pertama, jenis tanahnya sendiri; kedua oleh karena pengaruh tekanan efektif yang rendah pada daerah permukaan. Namun demikian potensi terjadinya liquefaction pada zona tertentu tidak hanya tergantung pada nilai N saja melainkan juga tergantung pada kepadatan relative, koefisien keseragaman , karakteristik getaran dan juga magnitude dan jarak sumber gempa (Idriss, 1971, 1982, 1990).

b. Lokasi 4

Pada lokasi 4 (*Hartono Lifestyle Mall*), dilakukan 5(lima) buah titik bor yang masing-masing dengan kedalaman 20,00 meter (Tabel 6 dan 7). Muka air tanah terletak pada -7,00. Pada umumnya, tanah berupa pasir halus sampai kasar untuk semua kedalaman. Nilai N-SPT rata-rata tinggi diatas 20, hanya terdapat beberapa kedalaman yang mempunyai nilai N lebih kecil 20. Untuk masing-masing pemboran, sampel tanah diambil pada kedalaman 5,00 dan 10,00 untuk diuji di laboratorium. Hasil pengujian analisis saringan menunjukkan fraksi pasir dan kerikil sebesar 76,4% (kerikil 11,2%; pasir 65,2%) sedangkan fraksi halus ($< 0,075$ mm) sebesar 23,6% (lanau 10%; lempung 13,6%). Koefisien keseragaman ($C_u = 2,1$), koefisien kelengkungan ($C_c = 3$). Jika dilihat dari kedua parameter terakhir, tanah tersebut besar kemungkinan mengalami liquefaction jika terjadi gempa. Namun demikian, jika melihat nilai N-SPT nya cukup besar kemungkinannya kecil untuk terjadi liquefaction.

Tabel 2. Berat volume, kadar air dan SPT untuk B4-4 dan B4-5

ELEVASI (M)	B4-4			B4-5		
	$\gamma(t/m^3)$	w(%)	N-SPT	$\gamma(t/m^3)$	w(%)	N-SPT
1,00 – 2,50	2.29	17.87	30	2.18	20.28	28
2,50 – 4,50	2.29	17.87	25	2.18	20.28	25
4,50 – 6,50	2.29	17.87	28	2.18	20.28	20
6,50 – 8,50	2.29	17.87	20	2.18	20.28	16
8,50 – 10,50	2.29	17.87	21	2.18	20.28	17
10,50 – 12,50	2.30	21.26	32	2.18	20.28	32
12,50 – 14,50	2.30	21.26	54	2.18	20.28	25
14,50 – 16,50	2.30	21.26	22	2.18	20.28	35
16,50 – 18,50	2.30	21.26	28	2.18	20.28	46
18,50 – 20,50	2.30	21.26	60	2.18	20.28	60
20,50 – 22,50	2.12	26.53	60	2.20	18.66	60
22,50 – 24,50	2.12	26.53	20	2.20	18.66	24
24,50 – 26,50	2.12	26.53	28	2.20	18.66	29
26,50 – 28,50	2.12	26.53	30	2.20	18.66	31
28,50 – 30,00	2.12	26.53	33	2.20	18.66	32
M.A.T	-7,00			-7,00		
Sampel	-10,50	-20,50	-2,00	-10,00		

4. ANALISIS POTENSI LIQUEFACTION

Untuk analisis liquefaction, tidak semua titik bor dianalisis. Di dalam paper ini diambil 2(dua) titik bor saja yaitu satu dilokasi 1 (B1-1) dan satu lainnya di lokasi 4 (B4-5). Menurut data dari Direktorat Meteorologi dan Geofisika, mulai tahun 1926 di Yogyakarta terjadi empat peristiwa gempa besar ($M > 6,5$), sebagai berikut: Pertama terjadi pada tanggal 10 September 1926, $M = 7,2$ dengan $R = 51,91$ km. Kedua terjadi pada tanggal 24 Juni 1958, $M = 6,5$ dengan $R = 133,54$ km, ketiga terjadi pada tanggal 8 Nopember 1974, $M = 7,0$; $R = 54,30$, dan yang keempat terjadi pada tanggal 15 Mei 1979, dengan $M = 6,8$; $R = 43,04$ km. Gempa terakhir di DIY terjadi pada tanggal 27 Mei 2006 dengan $M = 6,0$; $R = 37$ km. Jika digunakan persamaan Liu dan Dong (1996), besarnya percepatan maksimum dapat dihitung dengan hasil seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil hitungan a_{max} berdasarkan data masa lampau

No	M	R	a	B	C	a_{max}	a_{max}/g
1	7,2	51,91	538,54	0,8264	1,6814	139,4	0,142
2	6,5	133,54	74,04	1,0132	1,4820	29,45	0,03
3	7,0	54,30	489,97	0,8353	1,6719	113,28	0,116
4	6,8	43,04	798,20	0,7894	1,7209	120,05	0,123
5	6,0	37,00	928,50	0,7595	1,7529	86,872	0,088*)

*) gempa Bantul DIY, 2006

Analisis ketahanan tanah terhadap liquefaction/ *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) menggunakan data Standard Penetration Test (SPT). Nilai N-SPT dinormalisir dengan memasukkan beberapa factor koreksi. Faktor koreksi tersebut adalah : factor koreksi energy pemukul (C_E), factor koreksi lobang bor (C_B), factor koreksi panjang batang (C_R), dan factor koreksi sampler (C_S)

a. Lokasi 1 (B1-1)

Analisis CSR

Analisis cyclic stress ratio menggunakan percepatan horizontal maksimum tidak sama persis dengan peristiwa-peristiwa gempa masa lampau seperti terlihat pada table 5.23, melainkan menggunakan (a_{max}/g) : 0,05(gempa Yogya, 1979); (0,09-gempa Yogya 2006); 0,15 ; 0,20; dan 0,25g. Hasil hitungan CSR untuk titik bor B 1-1, dapat dilihat pada table 12 berikut.

Tabel 4. Hitungan CSR untuk B1-1

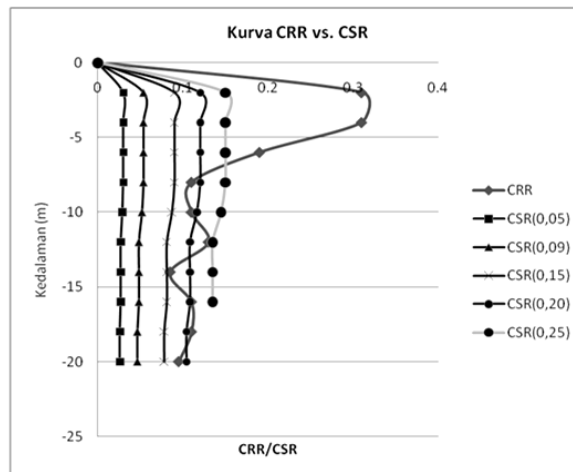
Z (m)	(σ_{vo}/σ')	r_d	CSR untuk (a_{max}/g)				
			0,05	0,09	0,15	0,20	0,25
0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0.032003	0.057605	0.096008	0.128011	0.160014
4	1	1	0.031506	0.05671	0.094517	0.126022	0.157528
6	1	1	0.031008	0.055815	0.093025	0.124033	0.155041
8	1	1	0.030511	0.05492	0.091533	0.122044	0.152555
10	1	1	0.029478	0.05306	0.088433	0.11791	0.147388
12	1	1	0.027742	0.049936	0.083226	0.110968	0.13871
14	1,06	1.06	0.027567	0.04962	0.082701	0.110268	0.137834
16	1,13	1.13	0.027426	0.049367	0.082279	0.109705	0.137131
18	1,18	1.18	0.026592	0.047865	0.079776	0.106368	0.132959
20	1,25	1.25	0.026	0.0468	0.078	0.104	0.13

Analisis CRR

Tabel 5. Hitungan CSR untuk B1-1

z(m)	N_{SPT}	σ' (kN/m ²)	$C_N = (100/\sigma')$	$(N_1)_{60}$	$CRR_{7,5}$	K_σ	CRR
0	0	0	0	0	0	0	0
2	10	36.4	2.747253	24.79396	0.287866	1	0.310895
4	20	72.8	1.373626	24.79396	0.287866	1	0.310895
6	20	109.2	0.915751	16.5293	0.175809	1	0.189873
8	17	145.6	0.686813	10.53743	0.117887	0.9	0.114586
10	21	182	0.549451	10.41346	0.116782	0.84	0.105945
12	34	218.4	0.457875	14.04991	0.150652	0.8	0.130163
14	25	261.4	0.382555	8.631408	0.101255	0.78	0.085297
16	41	304.4	0.328515	12.15588	0.132625	0.75	0.107426
18	50	347.4	0.287853	12.98935	0.140447	0.72	0.109212
20	50	390.4	0.256148	11.55866	0.127119	0.69	0.094729

Harga CRR di permukaan cukup besar walaupun nilai N SPT nya relatif kecil. Hal ini disebabkan pertama koreksi tekanan efektif (C_N) besar dipermukaan dan mengecil terhadap kedalamannya. Kedua oleh karena factor reduksi K_σ yang juga besar dipermukaan dan mengecil terhadap kedalaman. Hubungan antara CRR dengan CSR untuk B1-1 dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar1. CRR vs. CSR pada B1-1

Zona liquefaction pada lokasi ini hanya akan terjadi pada gempa besar dengan percepatan horisontal maksimum sama atau lebih besar 0,20 kali gravitasi. Pada saat percepatan horisontal maksimum 0,20 gravitasi, zona liquefaction terjadi pada kedalaman antara 8,00 sampai 10 meter; dan 12,00 sampai 16,00 meter dibawah permukaan tanah. Pada kedalaman tersebut, tanah berupa pasir halus dengan nilai N-SPT yang relatif rendah sekitar 17. Disamping itu, kedalaman tersebut terletak disekitar muka air tanah . Pada kedalaman itu tanah berupa pasir bergradasi relatif seragam dengan koefisien keseragaman $C_u < 3$

b. Lokasi 4

Di lokasi ini dilakukan 5(lima) buah pengujian bor dalam (B4-1, B4-2, B4-3, B4-4 dan B4-5) masing-masing sampai dengan kedalaman 30,00 meter. Disemua kedalaman didominasi oleh tanah pasir halus sampai kasar. Pada kedalaman 29,00 meter dijumpai pasir kelanauan. Dari kelima pengeboran tersebut, titik B4-5memilikinilai N-SPT paling rendah untuk setiap kedalaman. Oleh sebab itu, titik B4-5 ini yang dipakai untuk referensi analisis liquefaction.

Analisis CSR

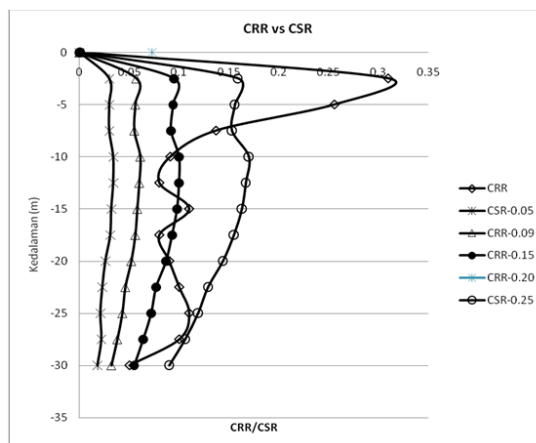
Tabel 6. Hitungan CSR untuk B 4-5

Z (m)	r_d	(σ_{vo}/σ')	CSR untuk (a_{max}/g)				
			0,05	0,09	0,15	0,20	0,25
0	1	0	0	0	0	0	0
2.5	0.981	1	0.032	0.057	0.0956	0.1275	0.1594
5	0.962	1	0.031	0.056	0.0938	0.1251	0.1563
7.5	0.943	1	0.030	0.055	0.0919	0.1225	0.1532
10	0.924	1.13	0.034	0.061	0.1017	0.1356	0.1696
12.5	0.840	1.225	0.033	0.060	0.1004	0.1338	0.1673
15	0.774	1.3	0.032	0.059	0.0980	0.1307	0.1634
17.5	0.707	1.35	0.031	0.056	0.0930	0.1240	0.1550
20	0.64	1.39	0.029	0.052	0.0867	0.1156	0.1445
22.5	0.573	1.385	0.026	0.046	0.07741	0.1032	0.1290
25	0.507	1.456	0.024	0.043	0.0719	0.0959	0.1198
27.5	0.440	1.483	0.021	0.038	0.0636	0.0848	0.1059
30	0.373	1.505	0.018	0.033	0.0547	0.0729	0.0912

Analisis CRR

Tabel 7. Analisis CRR untuk B4-5

z(m)	N_{SPT}	σ' (kN/ m^2)	$C_N = (N_1)_{60} / (100/\sigma')$	$(N_1)_{60}$	$CRR_{7.5}$	K_σ	CRR
0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	28	52	1.923	48.596	0.286	1	0.309
5	25	104	0.961	21.695	0.237	1	0.257
7.5	20	156	0.641	11.571	0.127	1	0.137
10	16	186.5	0.536	7.742	0.093	0.9	0.091
12.5	17	217	0.461	7.070	0.088	0.84	0.080
15	32	247.5	0.404	11.668	0.128	0.8	0.111
17.5	25	278	0.359	8.116	0.097	0.78	0.082
20	35	310.5	0.322	10.173	0.115	0.75	0.093
22.5	46	351	0.285	11.828	0.129	0.72	0.101
25	60	371.5	0.269	14.576	0.156	0.69	0.116
27.5	60	402	0.249	13.470	0.145	0.65	0.102
30	24	432.5	0.231	5.008	0.072	0.61	0.048



Gambar 2. CRR vs CSR berbagai percepatan B4-5

Hasil analisis liquefaction pada lokasi 4 ini berbeda dengan lokasi-lokasi sebelumnya. Pada titik bor B4-5 ini terjadi zona liquefaction pada kedalaman antara 10,00 sampai dengan 14,00 meter untuk percepatan horisontal maksimum 0,15g. Pada zona tersebut tanah berupa pasir halus bergradasi buruk dan pasir kelanauan dengan nilai N rendah sekitar 16 dan 17.

5. KESIMPULAN

Dari pengujian pemoran dan SPT untuk Daerah Istimewa Yogyakarta bagian utara dengan 7(tujuh) lokasi pemoran dan pengujian SPT dapat disimpulkan bahwa : pertama hasil pemoran menunjukkan tanah berupa pasir halus, pasir kasar, pasir berkerikil bergradasi buruk yang ditunjukkan oleh nilai koefisien keseragaman lebih kecil atau sama dengan 3, dengan koefisien kelengkungan lebih kecil 4. Muka air tanah relatif dalam dari -7,00 sampai dengan -20,00. Dibeberapa titik bor dan kedalaman tertentu dijumpai lapis pasir kelanauan. Kedua, pada setiap titik bor diambil minimal 2 sampel. Satu sampel diatas muka air tanah sedangkan satu sampel lainnya dibawah muka air tanah untuk diuji terutama analisis ukuran butir dan berat jenisnya. Hasil analisis saringan konsisten dengan profil tanah hasil pengujian bor dimana sebagian besar berupa pasir yang ditunjukkan oleh fraksi kasar yang lebih besar 50%, koefisien keseragaman antara 2 dan 3, koefisien kelengkungan antara 2 dan 4. Namun demikian di lokasi tertentu juga dijumpai pasir kelanauan dengan fraksi halus lebih besar dari 50%. Setelah data lapangan dan laboratorium diperoleh, dilakukan analisis liquefaction.

Analisis CSR menggunakan data riwayat gempa yang terjadi di Yogyakarta, termasuk gempa yang terjadi pada tanggal 27 Mei 2006, dengan $M=6$ jarak $R = 37$ km diperoleh $a_{max} = 0,09$ g. Pada amax tersebut harga CSR kurang dari 0,1 ; antara 0,048 sampai dengan 0,057, sedangkan nilai CRR rata-rata lebih besar dari 0,1 untuk setiap titik bor dan disemua kedalaman. Oleh sebab itu pada saat gempa Yogya tahun 2006, di wilayah Utara DIY tidak terjadi liquefaction. Namun demikian jika gempa yang terjadi besar dan menghasilkan percepatan maksimum lebih besar dari 0,15g terjadi zona liquefaction pada lokasi 4. Di lokasi tersebut terjadi zona dari -10,00 sampai -14,00 dan -16,00 sampai -20,00. Dan jika percepatan gempa yang terjadi 0,20g, tidak hanya di lokasi 4 saja yang terjadi zona liquefaction. Di lokasi 1 terjadi zona liquefaction dari -7,50 sampa -11,00; -13,00 sampai -16,00 dan dibawah -18,00.

DAFTAR PUSTAKA

- Amini, F. ,and Qi,G.Z. (2000):"Liquefaction Testing of Stratified Silty Sand", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 126, No.3, March, 2001, pp.208-217.
- Balakrishnan, A. and Kutter,B.L. (1999):"Settlement, Sliding,and Liquefaction Remediation of Layered Soil", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.125, No. 11, November, 1999, pp.968-978.
- Bartlett, F.S., and Youd, L.T., (1995):"Empirical Prediction of Liquefaction – Induced Lateral Spread", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 121, No.4, April, 1995, pp 316-329.
- Cetin,O.K., et.all (2004):"Liquefaction-Induced Lateral Spreading at clay During the Kocaeli(Izmit)-Turkey Earthquake" *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.130, No. 12, December, 2004, pp. 1300-1313.
- Cetin,O.K., et.all (2004):"Standard Penetration Tet-Baed Probabilistic and Deterministic Assessment of Seismic Soil Liquefaction Potential" *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.130, No. 12, December, 2004, pp. 1314-1340.

- Elgamal, W. Ahmed, et.al. (1996): "Liquefaction of Reclaimed Island in Kobe, Japan" *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 122, No.1, January, 1996, pp. 39-49.
- Evans, D.M., and Zhou, (2005): "Liquefaction Behavior of Sand-Gravel Composites", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 121, No.3, March, 1995, pp 287-298
- Fear, E.C., and McEoberts, C.E., (1995): "Reconsideration of Initiation of Liquefaction in Sandy Soils", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 121, No.3, March, 1995, pp 249-261
- Hatmoko, John T (2002): "Probabilitas terjadinya peristiwa liquefaction pada tanah pasir lepas" *Jurnal Teknik Sipil*, Volume 2, Nomor 2, April 2002 pp. 93 – 101.
- Hatmoko, John T & Lulie, Y (2005): "Evaluasi potensi pencairan tanah (*liquefaction*) akibat gempa : Studi Kasus di bagian timur kota Yogyakarta" Laporan Studi, Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat (LPPM) Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Kramer, L.S. (1996): " *Geotechnical Earthquake Engineering*", Prentice-Hall *International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics*, New Jersey
- Liang, L., et.al. (1995): "Liquefaction Under Random Loading : Unit Energy Approach" *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 121, No.11, November, 1995, pp 776-781
- Lai, Y.S., et. All (2004): "Discriminant Model for Evaluating Soil Liquefaction Potential Using Cone Penetration Test Data" *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 130, No.12, December 2004, pp. 1271-1282.
- Seed, H.B., and Idriss, I.M. (1971): "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", *Journal of Geotechnical and Foundation Engineering*, ASCE, 97(9), pp.1249-1273.
- Prakash, S. (1981): " *Soil Dynamics*" McGraw-Hill book company, New York.
- Stark, D.T., and Olson, M.S. (1995): "Liquefaction Resistance Using CPT and Field Case histories", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 121, No.12, December, 1995, pp 856-878
- Youd, T.L. et.al. (2004): "Liquefaction Resistance of soils: Summary Report from The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127, No.8, August 2001, pp.817-833.

STUDI PARAMETER UJI KONSOLIDASI MENGGUNAKAN SEL ROWE DAN UJI KONSOLIDASI KONVENSIONAL TANAH DAERAH BANDUNG (012G)

Anastasia Sri Lestari¹, Florentina M. Sugianto²

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Jl. Ciumbuleuit 94 Bandung
Email: unpargeo@yahoo.co.id

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Jl. Ciumbuleuit 94 Bandung
Email: marcelina.sugianto@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pemampatan tanah pada butir halus yang disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, disipasi air pori merupakan peristiwa konsolidasi yang perlu dicermati. Lapisan tanah di lapangan umumnya mempunyai material penyusun tanah yang heterogen, permeabilitas rendah dengan partikel tanah tidak merata, hal ini membutuhkan contoh tanah yang dapat mewakili lapisan tanah khususnya untuk menguji besarnya koefisien konsolidasi (C_v) dan indeks kompresi (C_c). Penelitian ini menggunakan metoda uji Laboratorium dengan dua macam model uji yaitu menggunakan uji sel Rowe dan uji konsolidasi konvensional. Uji Konsolidasi menggunakan sel Rowe merupakan pengembangan dari uji konvensional dengan contoh tanah berdiameter 20 cm dan tebal 6 cm serta dapat mengukur tekanan air pori. Uji konsolidasi konvensional menggunakan sampel dengan diameter 5 cm dan tebal 2 cm, tidak dapat mengukur tekanan air pori. Pada kedua uji menggunakan sistem double drainage yaitu contoh uji berada pada dua batu pori yang dapat mengalirkan air akibat disipasi air pori. Lokasi contoh tanah diambil dari daerah Soekarno Hatta Bandung, hasil evaluasi dengan alat sondir merupakan tanah butir halus lunak cocok sebagai contoh uji penelitian konsolidasi. Dari hasil pengujian diperoleh nilai koefisien konsolidasi (C_v) menggunakan sel Rowe lebih besar 31,92 – 46,47 %, indeks kompresi (C_c) dengan sel Rowe lebih kecil 9,83 % serta nilai koefisien kemampuan volume (m_v) diperoleh rata-rata 0.59 – 4.91 % lebih kecil dari uji konvensional. Contoh uji dengan ukuran lebih besar memberikan hasil sesuai dengan kondisi lapangan yaitu adanya efek keterkaitan butir tanah dalam segala arah. Perlu diadakan pengembangan lebih lanjut penelitian uji sel Rowe untuk jenis tanah dengan material sangat heterogen dan permeabilitas rendah.

Kata kunci: sel Rowe, konsolidasi

1. PENDAHULUAN

Pemampatan pada tanah butir halus disebabkan adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel dan terjadinya disipasi air pori. Konsolidasi terjadi dalam jangka panjang dengan penurunan yang terjadi dapat merupakan total akhir yang besar. Kemiringan Menara Pisa diantaranya sebagian disebabkan oleh penurunan konsolidasi diferensial yang telah terjadi selama ratusan tahun (Bowles 1991). Sifat kemampuan tanah butir halus umumnya dilakukan menggunakan uji konsolidasi konvensional dengan contoh tanah berdiameter 5-6 cm dan ketebalan ± 2 cm. Secara praktis selama ini dapat digunakan untuk mencari nilai koefisien konsolidasi (C_v) yang menggambarkan kecepatan kompresi tanah terhadap waktu, nilai indeks kompresi (C_c) dan koefisien kemampuan volume (m_v), menggambarkan besaran kompresi tanah pada peristiwa konsolidasi.

Sifat kompresibilitas yang tinggi dan material penyusun tanah yang heterogen, permeabilitas rendah membuat berbagai faktor harus dipertimbangkan dalam desain pengujian laboratorium. Dalam prakteknya, dengan keterbatasan alat dan kemudahan pengambilan contoh uji dan lamanya waktu uji yang dibutuhkan, umumnya pengujian dilakukan dengan menggunakan benda uji ukuran kecil. Uji konsolidasi menggunakan contoh uji tanah dengan diameter dan ketebalan yang lebih besar diharapkan dapat memberikan hasil parameter karakteristik konsolidasi yang lebih akurat. Pengembangan uji konsolidasi menggunakan *sel Rowe* merupakan salah satu pengembangan uji konsolidasi agar mendapatkan hasil yang lebih menggambarkan kondisi tanah di lapangan. Penggunaan *sel Rowe* juga dapat mengukur tekanan air pori pada awal dan akhir setiap tahap konsolidasi. Pengujian dapat digunakan variasi untuk double atau single drainage dapat pula dengan beberapa variasi drainage. Dalam penelitian ini akan dilakukan perbandingan hasil yang diperoleh dari dua jenis metode pengujian dengan kondisi double drainage, diharapkan heterogenitas tanah dapat dipelajari terhadap parameter konsolidasi tanah.

2. RUANG LINGKUP DAN METODE PENELITIAN

Lingkup penelitian dibatasi pada kedalaman contoh tanah dan jenis pengujian konsolidasi di laboratorium. Karena keterbatasan alat pengambilan tanah lunak ‘undisturbed’, maka pengambilan contoh tanah uji diambil pada kedalaman tidak lebih dari satu meter di daerah Jl. Soekarno Hatta Bandung.

Pemilihan daerah lokasi berdasarkan kondisi tanah lunak dan muka air tinggi. Sebelum pengambilan sampel dilakukan uji lapangan berupa uji sondir untuk memastikan contoh tanah uji yang diambil adalah tanah lunak. Uji laboratorium yang diteliti berupa uji konsolidasi konvensional dengan diameter 5 cm, tebal 2 cm dan uji sel Rowe menggunakan contoh uji dengan diameter 20 cm dengan ketebalan 6 cm. Standard pengujian yang dipakai adalah standard ASTM

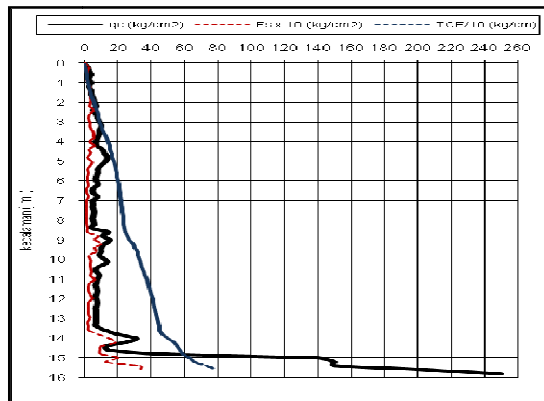
3. ALAT DAN SAMPEL UJI TANAH

3.1. Sampel Uji Tanah

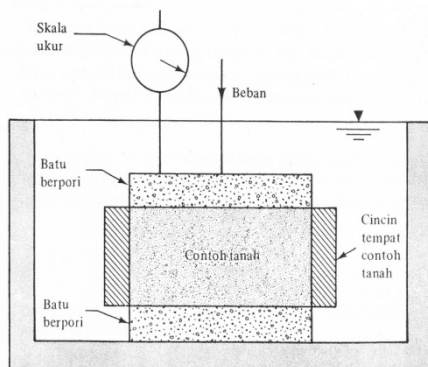
Hasil uji sondir ringan (gambar 1) pada area lokasi berupa nilai tahanan ujung (q_c) dan tahanan gesek pada selimut (f_s) terhadap kedalaman memberikan indikasi bahwa lapisan tanah tersebut tergolong tanah lunak. Contoh tanah diambil pada kedalaman tidak lebih dari satu meter, karena keterbatasan alat untuk pengambilan tanah lunak.

Gambar 3.1. Hasil uji sondir ringan

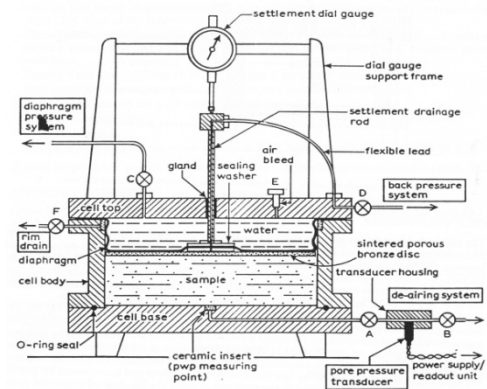
Pada gambar 3.2 merupakan sel konsolidasi konvensional dan gambar 3.3 merupakan sel Rowe dengan sel terdiri



atas penutup bagian atas, landasan bagian bawah dan badan sel. Landasan bagian bawah dilengkapi dengan pengatur untuk mengukur tekanan air pori



Gambar 3.2. Sampel Uji Konvensional



Gambar 3.3. Sampel uji pada Alat Rowe sel

3.2. Hasil Uji Laboratorium

Uji laboratorium dilakukan terhadap contoh tanah yang diambil pada kedalaman 0.5 – 1.0 m dari permukaan tanah, berupa tanah tidak terganggu.

3.2.1. Uji Sifat fisik tanah

Dari contoh uji tidak terganggu dilakukan uji laboratorium berupa sifat fisik tanah: kadar air, berat isi, specific gravity serta keplastisan tanah dan klasifikasi berdasarkan ukuran butir untuk mengetahui apakah jenis tanah mengalami proses konsolidasi.