

POTENSI LIKUIFAKSI TANAH BERPASIR DI SEKITAR KOLOM-KAPUR (*LIME-COLUMN*)

Agus Setyo Muntohar, Ario Muhammad, Setia Dinoor, Damanhuri

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

ABSTRAK

Likuifaksi yang terjadi saat gempa bumi 27 Mei 2006 telah menyebabkan kerusakan ringan beberapa unit bangunan gedung di Kampus Terpadu Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Untuk itu diperlukan suatu upaya untuk mengurangi resiko terjadi peristiwa likuifaksi jika terjadi gempa bumi salah satunya adalah dengan menggunakan teknik kolom-kapur (*lime-column/LC*). Kolom-kapur dibuat di lapangan dengan ukuran diameter 0,152 m (6 inch) dan panjang 1,50 m. Kuat dukung tanah di sekitar LC diukur dengan sondir (*cone penetration test/CPT*) pada jarak satu kali diameter dan setiap umur kolom mencapai 1 hari, 3 hari, dan 7 hari. Potensi likuifaksi sebelum dan sesudah pemasangan kolom-semen diperkirakan berdasarkan hasil uji CPT mengikuti prosedur yang diusulkan oleh Robertson dan Wride (1998), dimana faktor keamanan (FS_L) terhadap bahaya likuifaksi adalah nilai banding *cyclic resistance ratio* (CRR) terhadap *cyclic stress ratio* (CSR). Berdasarkan analisis-balik, nilai percepatan tanah diperkirakan 0,2 g – 3,25 g. Pemasangan kolom-kapur mampu meningkatkan nilai CRR dan faktor keamanan terhadap bahaya likuifaksi.

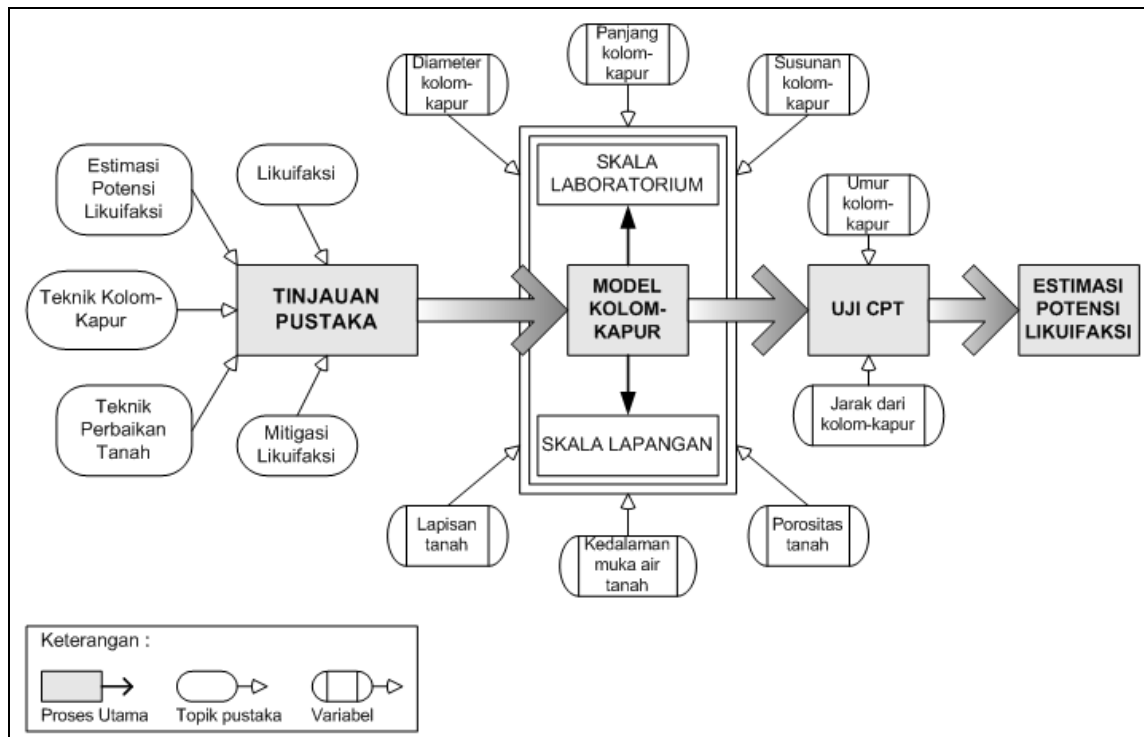
Kata kunci: gempa bumi, likuifaksi, tanah pasir, kolom-kapur, sondir, CRR/CSR

A. PENDAHULUAN

Kampus Terpadu Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY) berada di wilayah Bantul Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), yang merupakan salah satu wilayah resiko gempa. Jenis tanah yang berpasir dengan kerapatan yang rendah dan partikel-partikel yang seragam serta muka air tanah yang dangkal, menyebabkan wilayah kampus UMY sangat rentan terhadap peristiwa likuifaksi. Likuifaksi yang terjadi saat gempa bumi 27 Mei 2006 telah menyebabkan kerusakan ringan beberapa unit bangunan gedung (Lee dkk 2006). Peristiwa ini bisa mengakibatkan kekuatan tanah menjadi berkurang, sehingga tidak memiliki kekuatan yang cukup untuk mendukung bangunan di atasnya. Oleh karena itu diperlukan adanya usaha untuk meningkatkan daya dukung pada kondisi tanah seperti ini.

Perbaikan tanah secara kimiawi menggunakan kapur telah sering dilakukan guna mengurangi kembang-susut tanah dan meningkatkan sifat-sifat fisis tanah terutama tanah lempung. Dengan adanya peningkatan kekuatan tanah tersebut maka akibat yang ditimbulkan oleh gempa bumi bisa dikurangi, karena kekuatan tanah menjadi lebih besar dari sebelumnya. Penggunaan teknologi kolom kapur telah berkembang cukup pesat di Swedia dan Jepang dalam beberapa dekade terakhir. Akan tetapi teknologi ini belum diteliti secara mendalam di Indonesia. Kapur biasanya dicampurkan pada permukaan tanah dan dipadatkan. Namun cara ini akan menjadi kurang memuaskan jika kedalaman tanah sangat dalam. Salah satu metode pilihan untuk mengatasinya adalah dengan teknik “kolom-kapur” (*Lime-Column/LC*). Untuk itu perlu dikaji potensi kolom kapur (LC) untuk perbaikan tanah, dengan menguji kuat dukung tanah disekitar kolom kapur pada tanah berpasir seperti di area Kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY). Muntohar dkk (2008) merumuskan

kerangka penelitian tentang likuifaksi dan mitigasinya seperti disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Kerangka teori penelitian mitigasi likuifaksi dengan teknik kolom-kapur (Muntohar dkk, 2008)

Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Uji Sondir

Pada analisis deterministik, likuifaksi akan terjadi jika nilai faktor keamanan (*factor of safety*, FS_L) kurang dari dan sama dengan satu, $FS_L \leq 1$. Faktor keamanan ini merupakan perbandingan antara CRR dan CSR ($FS_L = CRR/CSR$). Sedangkan likuifaksi tidak akan terjadi bila $FS > 1$. Estimasi nilai CRR pada tanah berpasir dapat dihitung dengan menggunakan data lapangan dapat didasarkan pada data hasil uji penetrasi standar atau *standard penetration test* (SPT), uji sondir atau *cone penetration test* (CPT), pengukuran kecepatan gelombang geser atau *shear wave velocity* (V_s). Masing-masing jenis pengujian tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Namun diantara ketiga metode tersebut, metode CPT memiliki kualitas data yang sangat baik (Youd dan Idriss, 2001; Robertson, dan Wride, 1998).

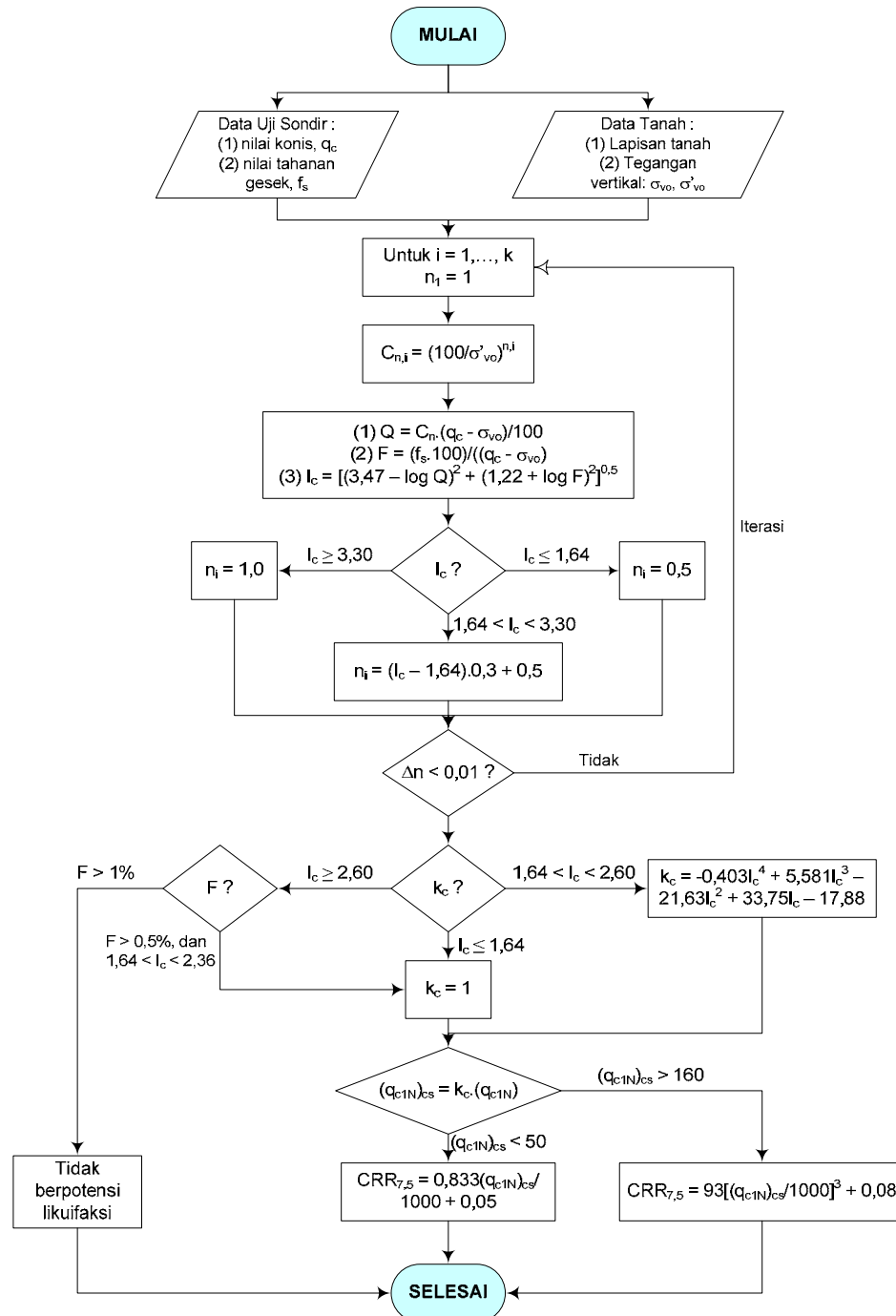
Untuk evaluasi CSR tidak ada perbedaan dalam penelitian-penelitian terdahulu yaitu mengacu pada persamaan (1) yang diusulkan oleh Seed dan Idriss (1971) sebagaimana dituliskan dalam Robertson (2004).

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) \cdot r_d \quad \dots\dots\dots (1)$$

dengan τ_{av} adalah tegangan geser siklik yang didekati dengan percepatan permukaan tanah maksimum arah horisontal (a_{max}), g merupakan percepatan gravitasi = $9,81 \text{ m/s}^2$, σ_{vo} dan σ'_{vo} adalah tegangan overburden vertikal total dan efektif, dan r_d adalah faktor pengurangan tegangan yang merupakan fungsi kedalaman (z). Nilai r_d ini didekati dengan fungsi bi-linear seperti dituliskan pada persamaan (2).

$$r_d = \begin{cases} 1 - 0,00765z & \text{untuk } z < 9,15 \text{ m} \\ 1,174 - 0,0267z & \text{untuk } 9,15 \leq z \leq 23 \text{ m} \end{cases} \dots\dots\dots(2)$$

dimana z adalah kedalaman dengan satuan m.



Gambar 2 Diagram alir untuk evaluasi CRR (dimodifikasi dari Robertson, 2004).

Sedangkan untuk evaluasi CRR terdapat beberapa usulan, namun dalam NCEER workshop pada tahun 1996 (Youd dan Idriss, 2001) digunakan pendekatan yang dibuat oleh Robertson dan Campanella (1985) dengan beberapa perbaikan. Gambar 2.6 menyajikan diagram alir untuk estimasi CRR.

B. METODE PENELITIAN

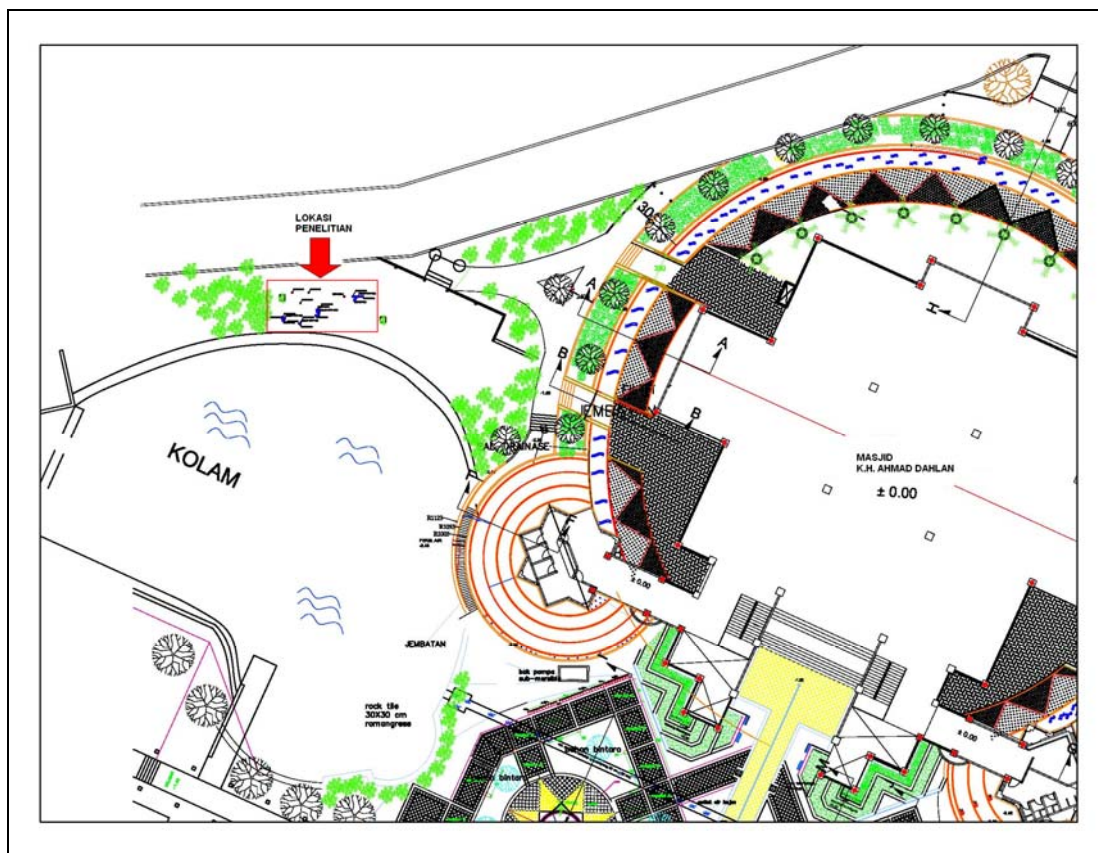
Secara garis besar, penelitian tentang kolom-kapur ini dapat dilakukan dengan pengujian model di laboratorium dan pengujian model di lapangan. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kolom-kapur di lapangan. Pada kerangka teori yang disusun dalam Gambar 1, terlihat bahwa hasil akhir dari penelitian adalah estimasi potensi likuifaksi setelah pemasangan kolom-kapur. Namun, pada naskah ini hanya akan dibahas hasil uji kekuatan tanah atau hasil uji CPT.

Lokasi Penelitian

Pembuatan kolom-kapur dilakukan pada area di sekitar situ dekat Masjid K.H Ahmad Dahlan Kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Lokasi pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan hasil pengujian pendahuluan, tanah di lokasi penelitian ini adalah tanah berpasir pasir yang mana 86%-89% merupakan fraksi pasir dengan karakteristik sebagai berikut :

- Koefisien keseragaman, $C_u = 7,2 - 7,5$
- Koefisien kelengkungan, $C_c = 0,90 - 0,97$

Berdasarkan klasifikasi tanah menurut USCS, suatu tanah berpasir dikategorikan bergradasi baik jika nilai $C_u > 6$ dan $1 < C_c < 3$. Dengan demikian tanah yang diuji adalah tanah pasir bergradasi buruk yang diberi simbol dengan SP. Porositas tanah di lapangan yaitu sebesar 10,1 % yang artinya volume pori tanah yaitu 10,1% dari volume total tanah. Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air dan kering pada lokasi yang diuji adalah $\gamma_{sat} = 23,4 \text{ kN/m}^3$ dan $\gamma_d = 22,4 \text{ kN/m}^3$.



Gambar 3 Denah lokasi penelitian

Alat dan Bahan

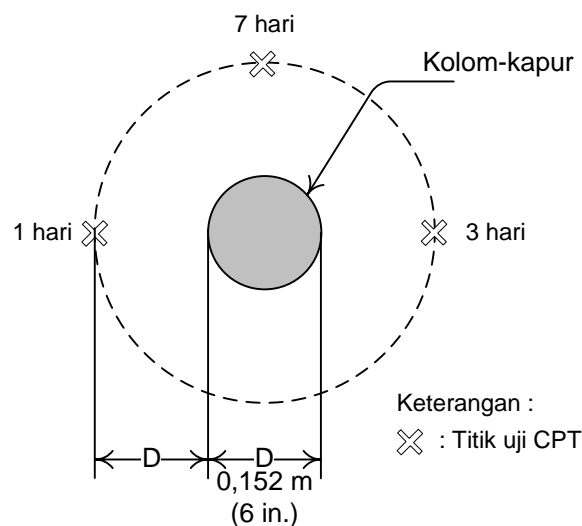
Untuk membuat kolom-kapur digunakan kapur jenis kapur padam atau hydrated-lime. Kapur ini biasanya dituliskan dengan lambang kimia sebagai $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Peralatan utama yang digunakan untuk mengetahui kuat dukung tanah di lokasi pengujian adalah sondir jenis ringan yaitu berkapasitas 2 ton. Sondir ini dikenal juga dengan sebutan cone penetration test atau CPT. Sondir ini dilengkapi dengan konis ganda atau bikonis yang diperlukan untuk mengukur perlawanan ujung (*tip resistance*) dan perlawanan gesek (*shaft resistance*).

Pembuatan Kolom Kapur

Pada penelitian ini 1 buah kolom kapur, dengan diameter $D = 0,152 \text{ m}$ (6 inch). Sedangkan panjang kolom yang direncanakan adalah 1,5 m. Banyaknya kapur yang dibutuhkan, disesuaikan dengan kondisi ketika pemasangan kolom. Kapur yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapur padam dalam bentuk serbuk. Kapur dibiarkan kering udara, selanjutnya diambil sesuai dengan berat yang dibutuhkan. Kolom kapur dibuat dengan memasukan selubung pipa ke dalam tanah dan mengeluarkan tanah yang ada di dalam pipa. Setelah mencapai kedalaman 1,5 m, selubung pipa dikeluarkan perlahan-lahan sambil memasukkan kapur sedikit demi sedikit hingga penuh sambil memberikan tekanan supaya padat.

Uji Sondir (Cone Penetration Test)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kuat dukung tanah yang diuji. Uji sondir dilakukan pada jarak $1D$ dari kolom-semen hingga mencapai kedalaman 3,0 m dengan menggunakan konus ganda. Arloji manometer dibaca dan dicatat setiap interval kedalaman 0,2 m. Titik yang telah diuji tidak digunakan lagi untuk penyondiran berikutnya. Pengaturan titik uji sondir atau CPT ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Pengaturan titik uji CPT di sekitar kolom-kapur

Estimasi Likuifaksi

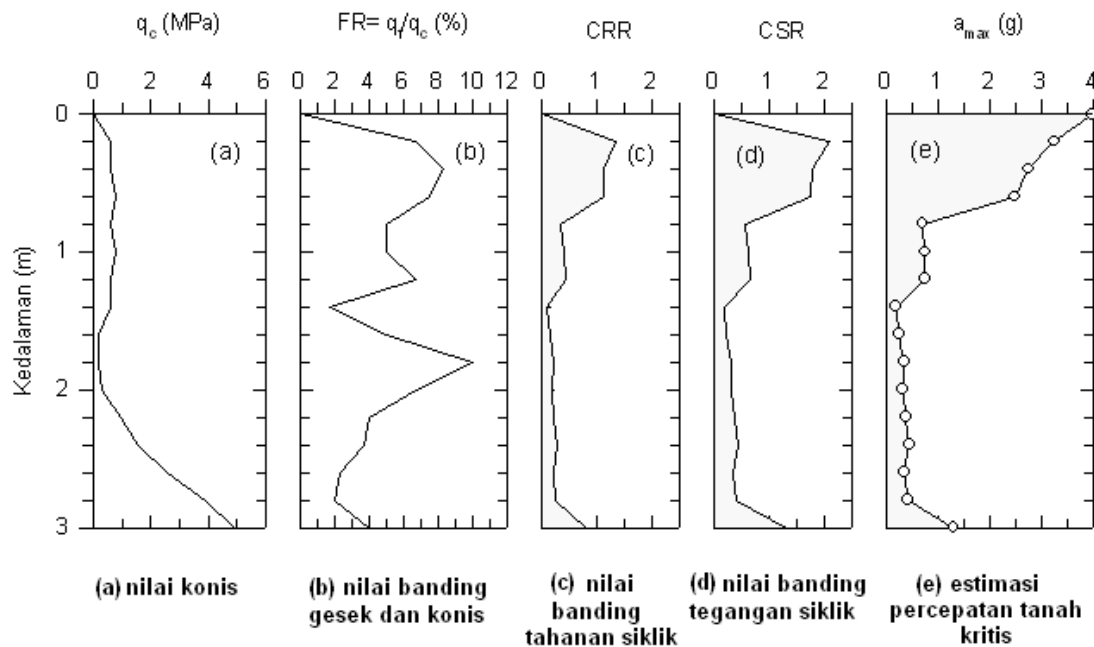
Dalam analisis likuifaksi, besarnya momen gempa yang digunakan sebesar $M_w = 6,3$ (Lee dkk, 2006). Analisis likuifaksi berdasarkan teori keseimbangan gaya (*force equilibrium*) tidak dapat dilakukan karena tidak terdapat data accelerometer di wilayah gempa. Untuk itu estimasi likuifaksi didekati dengan melakukan analisis-balik (*back-*

analysis) percepatan permukaan tanah dengan menggunakan metode yang diusulkan oleh Robertson dan Campanella (1985).

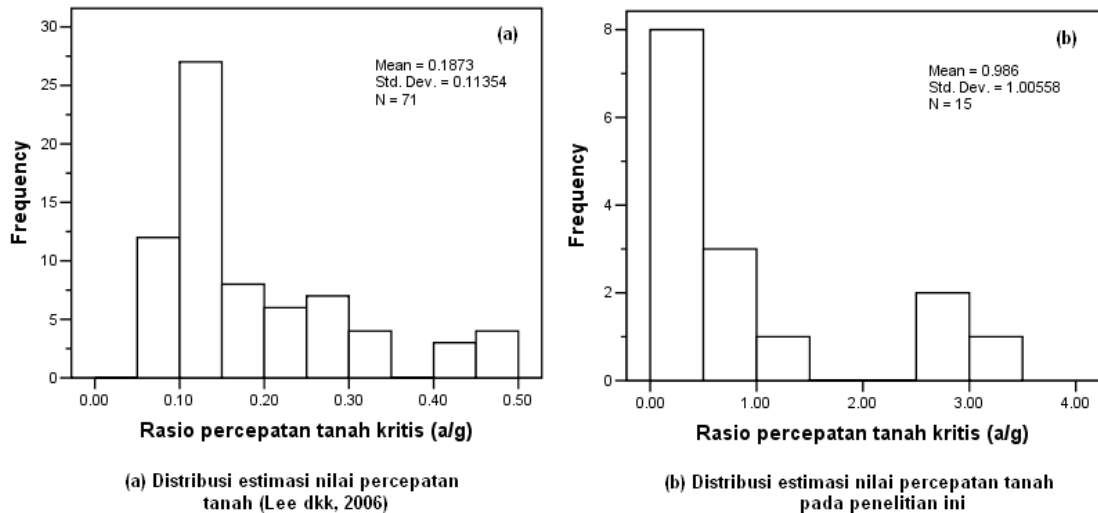
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari analisis data uji sondir bikonis diperoleh hasil berupa nilai tahanan ujung konis (q_c) dan tahanan gesek lokal (q_f). Angka banding gesek (FR) menyatakan prosentase dari perlawanan gesek terhadap tahanan ujung konis yang secara matematis dituliskan $FR = \frac{q_f}{q_c} \times 100\%$. Hasil uji sondir pada lokasi uji sebelum pemasangan

kolom-kapur seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Sebelum pemasangan kolom-kapur, berdasarkan hasil uji sondir tersebut diketahui bahwa pada kedalaman hingga 2,0 m, nilai tahanan ujung konis relatif rendah yaitu kurang dari 1 MPa (gambar 5a). Dapat diketahui pula bahwa nilai tahanan siklik (CRR) di bawah muka air tanah (yaitu mulai kedalaman 0,6 m) kurang dari 1 MPa (gambar 5c). Nilai nilai lebih kecil jika dibandingkan dengan tanah yang berada di atas muka air tanah ($CRR > 1$ MPa). Melihat hasil ini berarti letak kedalaman muka air tanah sangat mempengaruhi kemampuan tanah untuk memberikan perlawanan siklik akibat gempa. Nilai banding tegangan siklik (gambar 5d) diperkirakan dari percepatan tanah kritis (gambar 5e). Percepatan tanah kritis a_{max} , dalam penelitian ini, didefinisikan sebagai percepatan tanah minimum diperlukan untuk menyebabkan likuifaksi ($FS_L < 1$). Hasil analisis-balik memberikan hasil bahwa nilai percepatan tanah bervariasi dari 0,2 g hingga 3,25 g. Nilai a_{max} terendah dicapai pada kedalaman tanah 1,4 m; sedangkan nilai terbesar dicapai didekat permukaan tanah. Perbandingan distribusi estimasi nilai percepatan tanah kritis dari hasil kajian ini dan Lee dkk (2006) disajikan pada gambar 6.

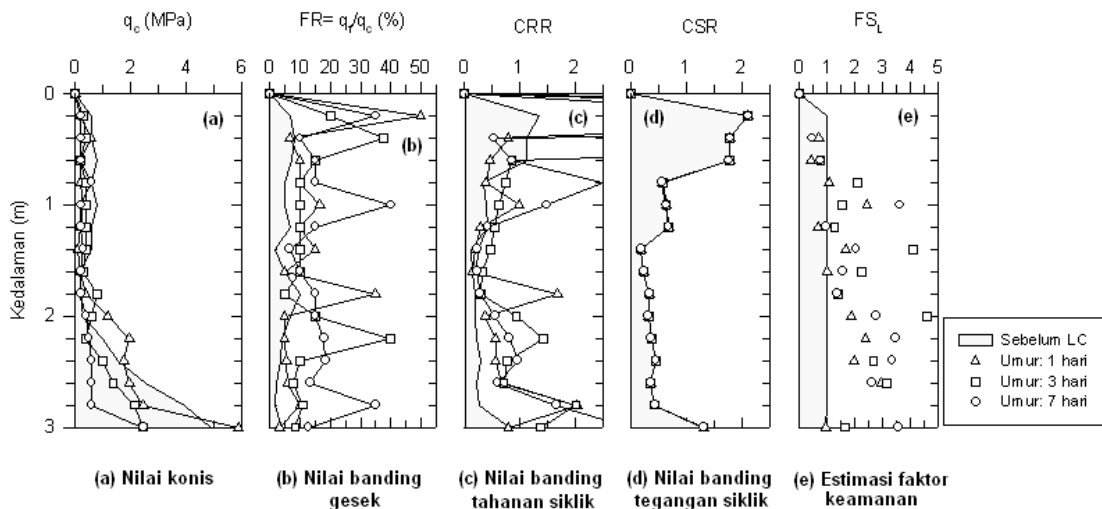


Gambar 5 Hasil uji sondir dan analisis likuifaksi sebelum pemasangan kolom-kapur.



Gambar 6 Hasil analisis-balik nilai percepatan tanah kritis (a_{max}).

Setelah pemasangan kolom-kapur terjadi peningkatan nilai konis q_c dan nilai banding gesek FR (gambar 7a dan 7b). Hal ini menyebabkan adanya peningkatan nilai banding tahanan siklik (CRR) yang menjadi salah satu indikasi adanya pengurangan resiko likuifaksi. Secara umum dapat diketahui bahwa nilai CRR meningkat seiring dengan umur kolom-kapur. Bila menggunakan data percepatan tanah a_{max} seperti pada gambar 5e, maka nilai banding tegangan siklik setelah pemasangan kolom seperti pada gambar 7d. Dengan demikian, faktor keamanan setelah pemasangan kolom-kapur dapat diperkirakan seperti disajikan pada gambar 7e. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan di bawah muka air tanah meningkat. Air tanah inilah yang menjadi media untuk membantu proses migrasi ion-ion kalsium (Ca^{2+}) dari kolom kapur. Tidak terjadinya peningkatan kekuatan tanah dapat disebabkan keragaman (*heterogeneity*) dan ketidakpastian (*uncertainty*) sebaran porositas, jenis dan ukuran partikel tanah di lapangan. Dengan demikian, ion-ion kalsium (Ca^{2+}) dari kolom kapur akan mengalami hambatan dalam bermigrasi, sehingga proses stabilisasi tanah tidak berlangsung.



Gambar 7 Hasil uji sondir dan analisis likuifaksi setelah pemasangan kolom.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian di lapangan dan estimasi potensi likuifaksi dapat disimpulkan bahwa percepatan tanah bervariasi 0,2 g hingga 3,25 g. Nilai banding tahanan siklik dan tegangan siklik di bawah muka air tanah cenderung lebih rendah dibandingkan dengan tanah yang berada di atas muka air tanah. Setelah pemasangan kolom, nilai banding tahanan siklik dan faktor keamanan meningkat seiring dengan umur kolom-kapur. Dengan demikian, pemasangan kolom-kapur dapat mengurangi bahaya likuifaksi.

E. DAFTAR PUSTAKA

- 1) Lee, S.H.H., Ching, H.H., dan Muntohar, A.S., 2006. Study on Liquefaction Problem of Yogyakarta Area at 052706 Earthquake, Proceeding International Seminar and Symposium on Earthquake Engineering and Infrastructure & Building Retrofitting (EE & IBR), 28 Agustus 2006, Yogyakarta, 6-10.
- 2) Muntohar, A.S., Muhammad, A., Damanhuri, dan Dinor, S., 2008, Karakteristik kuat dukung tanah berpasir di sekitar kolom-kapur (lime-column). Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 (SATEK2), Universitas Lampung, 17 – 18 November 2008.
- 3) Robertson, P.K., 2004, Evaluating Soil Liquefaction and Post-earthquake deformations using the CPT. In Viana da Fonseca & Mayne (eds.): Proceedings ISC-2 on Geotechnical and Geophysical Site Characterization, Millpress, Rotterdam, 233-252.
- 4) Robertson, P.K., and Campanella, R.G., 1985, Liquefaction potential of sands using the CPT. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 111 (3), 384-403.
- 5) Robertson, P.K., dan Wride, C.E., 1998, Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 35, 442–459.
- 6) Seed, H.B., and Idriss, I.M., 1971, Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 97 (9), 1249-1273.
- 7) Youd, T.L., dan Idriss, I.M., 2001, 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 (4), 297-313.