

MENDETEKSI RETAKAN DALAM PADA TUBUH LERENG TANAH RESIDU MENGGUNAKAN *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY*

Eko Andi Suryo

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65141, Indonesia
E-mail: andisuryo@gmail.com

ABSTRAK

Retakan pada tanah merupakan salah satu faktor yang berpengaruh signifikan dalam stabilitas tanah yang bisa memicu terjadinya kelongsoran akibat hujan deras. Adanya retakan di permukaan lereng tanah akan berpotensi menurunkan kekuatan geser dan meningkatkan koefisien permeabilitas tanah. Efek retakan permukaan tanah terhadap stabilitas lereng telah banyak diteliti, namun pengaruh 'retakan dalam' pada stabilitas tanah masih belum diketahui. Terbatasnya informasi ini kemungkinan besar disebabkan belum tersedianya metode yang efektif untuk mendeteksi 'retakan dalam'. Tulisan ini membahas alternatif metode untuk mendeteksi 'retakan dalam' di lereng tanah residu di Indonesia menggunakan metode *electrical resistivity tomography* (ERT). Penyelidikan Lapangan melalui *Bore-hole Drilling* dilakukan di beberapa titik lokasi di lereng dimana pengujian ERT telah dilakukan. Selanjutnya hasil dari penyelidikan tanah di laboratorium digunakan untuk memverifikasi hasil uji ERT tersebut. Studi ini menunjukkan potensi penggunaan ERT untuk mendeteksi 'retakan dalam' pada lereng tanah residual.

Kata kunci: lereng tanah residu, retakan dalam, *electrical resistivity*, *bore-hole data*.

PENDAHULUAN

Penyelidikan stabilitas lereng tanah selalu dilaksanakan dengan cara mengetahui faktor-faktor pengaruh dan karakteristik perilaku tanah di lereng tersebut. Salah satu faktor yang harus diperhatikan adalah keberadaan 'retakan tanah' yang berpotensi untuk menimbulkan ketidakstabilan lereng saat terjadi hujan. Sejumlah artikel menunjukkan bahwa retakan mempengaruhi stabilitas lereng alami (Chowdhury & Zhang, 1991; Yao et al, 2001;. Li, 2009). Sering ditemukan bahwa tanah dalam kondisi tak-jenuh ketika retakan mulai muncul di permukaan tanah yang disebabkan faktor alam seperti penyusutan tanah, gempa bumi atau *creep*. Limpasan air permukaan bisa mengisi celah ini dengan material *impurities* dimana material ini dapat mengubah lereng tanah tersebut

akibat perbedaan karakteristik dan kekuatan gesernya. Karena material yang lebih porous, material *impurities* ini akan jenuh lebih cepat daripada tanah asli lereng. Kondisi ini akan meningkatkan tekanan air pori positif dalam tanah dan mempengaruhi stabilitas lereng secara keseluruhan.

Penelitian mengenai stabilitas lereng akibat pengaruh retakan di permukaan dan infiltrasi air hujan telah banyak dilakukan (Baker, 1981; Lee et al, 1988;. Chowdhury dan Zhang, 1991; Yao et al, 2001;. Li, 2009). Namun, hanya sedikit peneliti yang telah melakukan penelitian mengenai efek dari 'retakan dalam' di lereng tanah. Keterbatasan pada metode investigasi yang efektif untuk mendeteksi 'retakan-dalam' menjadi salah satu kendala penelitian di bidang ini.

Apabila retakan tanah muncul di permukaan maka akan sangat mudah diketahui. Sebaliknya, untuk mendeteksi retakan-dalam yang terjadi dibawah permukaan tanah hampir tidak mungkin dilakukan tanpa menggunakan peralatan khusus. Alat-alat aplikasi geofisika biasa digunakan dalam penyelidikan tanah, terutama pada tahap pengambilan data awal. Meskipun informasi yang diperoleh sangat terbatas, metode-metode geofisika ini dapat memberikan hasil yang cepat dan lebih ekonomis (Craig, 2004). Berdasarkan prinsip-prinsip fisika yang diterapkan, ada beberapa metode geofisika yang dapat digunakan sebagai metode pengujian non-destruktif dalam penyelidikan tanah, seperti: seismik refraksi, refraksi gelombang elektromagnetik dan resistivitas listrik.

Penyelidikan tanah menggunakan metode resistivitas listrik telah digunakan oleh Samouelian et al. (2003), Friedel et al. (2006), Oh & Sun (2007), Tabbagh et al., (2007), Zhu et al. (2009), Sudha et al. (2009). Metode resistivitas listrik menentukan jenis tanah menggunakan perbedaan resistensi listrik pada setiap jenis tanah yang berbeda. Resistensi listrik pada tanah dapat diukur dengan cara mengalirkan arus listrik dalam tanah dimana alirannya akan dipengaruhi oleh kadar air dan konsentrasi garam dalam tanah. Misalnya, tanah jenuh air dengan angka pori tinggi akan terdeteksi sebagai tanah dengan resistivitas rendah karena adanya air pori dan ion bebas dalam air tersebut.

Salah satu aplikasi dalam metode resistivitas listrik yang bisa digunakan dalam penyelidikan tanah adalah Electrical Resistivity Tomography (ERT) yang dapat memberikan gambaran tentang lapisan tanah subsurface. Hasil ERT ini dapat dikorelasikan dengan kekuatan

Tulisan ini membahas hasil penyelidikan tanah untuk mendeteksi 'retakan-dalam' pada lereng tanah

residual di Desa Jombok, kota Ngantang, Indonesia menggunakan ERT metode dengan dua array: Metode dipole-dipole dan azimuth. Selanjutnya, data yang bore-lubang dan tes laboratorium digunakan untuk memverifikasi hasil ERT tersebut. Lokasi penelitian dan garis profil ERT serta titik penyelidikan geoteknik ditampilkan pada **Gambar 1**.

METODOLOGI

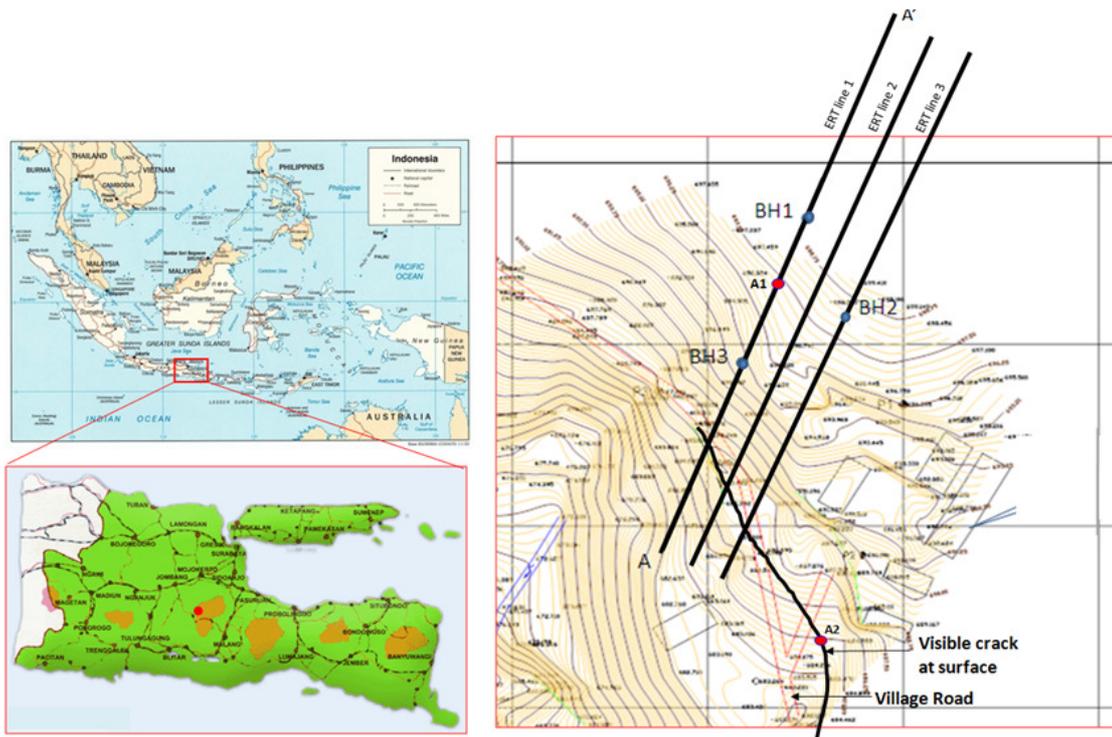
Untuk mendapatkan karakteristik lapisan tanah di lokasi penelitian, tiga borehole tes dilakukan pada lokasi BH1, BH2, dan BH3 seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Muka air tanah (GWT) ditemukan pada kedalaman 6m, 7m dan 9m di masing-masing lokasi BH1, BH2 dan BH3.

Sampel tanah yang dikumpulkan di setiap kedalaman 1m disetiap borehole digunakan untuk menentukan kadar air, specific gravity, batas Atterberg, unit weight tanah kering, distribusi ukuran butiran, dan kekuatan geser di laboratorium sesuai prosedur standard ASTM.

Lereng tanah residu dengan vegetasi yang jarang dipilih untuk penelitian ini. Sebelumnya, Pemerintah setempat telah melaporkan bahwa lereng bagian bawah di lokasi studi ini telah mengalami longsor sekitar setahun sebelum penelitian ini dilakukan. Bersamaan dengan kejadian longsor tersebut, beberapa retakan tanah muncul di sisi atas lereng tanah. Selanjutnya, dalam penelitian ini akan digunakan ERT untuk menemukan retakan-dalam di sisi atas lereng tanah tersebut.

Dipole-dipole method

Survei ERT yang pertama dilakukan menggunakan metode dipole-dipole di sepanjang garis profil dengan jarak antar elektroda sebesar 10 m. Seluruhnya ada 3 jalur profil dengan panjang masing-masing 150 m dalam posisi sejajar dalam jarak 5 m.



Gambar 1. Peta Lokasi Studi yang Menunjukkan Lokasi ERT Metode Dipole-dipole Array dan Azimuth Array (A) Serta Lokasi Bore-hole (BH)

Arus searah (DC) dialirkan kedalam tanah untuk mendapatkan respon listrik. Respon ini menunjukkan nilai resistivitas tanah yang dicatat menggunakan resistivity-meter yang diproduksi oleh OYO (tipe 2 2D, Serie 380.275, tahun produksi 2006). Selanjutnya, data resistivitas tanah tersebut dianalisa menggunakan software Res2Div berlisensi resmi di Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Indonesia.

Gambar 2 menunjukkan distribusi resistivitas tanah di bawah permukaan tanah di lereng penelitian. Terlihat pada gambar tersebut sebaran resistivitas tanah yang bervariasi pada kedalaman yang berbeda di sepanjang garis profil. Resistivitas tanah di daerah tersebut berkisar antara 1 sampai 2000 Ωm yang menunjukkan variasi luas dalam jenis tanah, kandungan tanah lempung, porositas, dan kadar air. Secara umum, tanah dengan resistivitas rendah terdeteksi pada lapisan yang dekat dengan permukaan tanah (kedalaman 5 - 10 m). Hal ini bisa disebabkan oleh kadar

air yang tinggi di permukaan tanah di musim penghujan.

Kandungan lempung dalam matriks tanah juga mempengaruhi besaran resistivitas tanah. *Cloud* dari ion tambahan dapat terbentuk di sekitar setiap partikel tanah lempung melalui pertukaran ion tanah lempung. Karena ion ini akan mempermudah aliran arus, maka tahanan listrik dalam tanah berbutir halus, seperti lempung, selalu lebih rendah dari yang diharapkan (Zhdanov dan Keller, 1994). Seperti ditunjukkan dalam **Gambar 3**, ada beberapa zona lokal dengan resistivitas sangat rendah (3 - 30 Ωm). Dari data tanah yang diperoleh dari tes bore-hole diperoleh informasi bahwa tanah di zona lokal tersebut memiliki porositas yang tinggi dan kadar air yang tinggi (perlu diketahui, tes ERT dilakukan pada musim penghujan). Oleh karena itu, zona lokal ini dapat diidentifikasi sebagai lokasi yang potensial terdapat retakan. Zona retakan tanah memiliki tingkat porositas yang

tinggi dan kadar air yang tinggi di musim penghujan mengingat air hujan dapat dengan mudah meresap kedalam celah-celah retakan tersebut. Hipotesis ini diperkuat oleh fakta yang ditunjukkan pada garis profil 1 (**Gambar 3a**) dimana retakan permukaan terlihat berada pada posisi yang tepat sama dengan zona tanah yang memiliki resistivitas sangat rendah. Namun pembuktian ini tidak dapat dilakukan pada kedua garis profil yaitu profil 2 (**Gambar 3b**) dan garis profil 3 (**Gambar 3c**) karena masalah aksesibilitas untuk melakukan ERT. Zona resistivitas rendah, yang dapat diamati pada jarak horizontal (dari A) antara 60 m sampai 130 m dan kedalaman 0-12 m, konsisten untuk semua garis profil tersebut. Hal ini menunjukkan adanya kemungkinan retakan melintang di daerah ini.

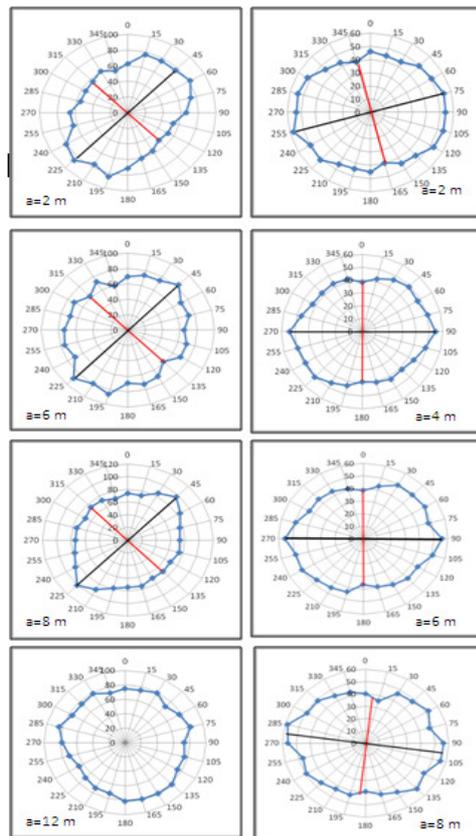
Azimuthal resistivity technique

Untuk mendapatkan identifikasi yang lebih detail terhadap retakan-dalam di bawah permukaan tanah, *azimuthal resistivity technique* (ART) dilakukan pada zona yang diperkirakan ada retakan tanah tersebut. Seperti ditunjukkan dalam **Gambar 1** dan **Gambar 3a**, ada dua lokasi untuk ART yaitu: ditengah garis profil 1 (lokasi A1) dan di lokasi yang dekat dari retakan permukaan (lokasi A2).

Secara umum, retakan pada lapisan tanah dapat diketahui dengan mendeteksi zona anisotropi. ART dapat digunakan untuk menentukan arah retakan vertikal dalam tanah (Senos-matias, 2002; Busby & Jackson, 2006 dan Schmutz et al, 2006.). Sebuah konfigurasi array bujursangkar dipilih untuk digunakan dalam penelitian ini guna menunjukkan adanya zona anisotropi. Metode ini akan mendeteksi retakan tanah yang ditunjukkan dengan resistivitas yang kecil sebagai arah sudut retak tanah dan sekaligus menunjukkan kedalaman retakan tersebut. Dalam penelitian ini

ukuran sisi array bujursangkar (a) diawali dari 2m hingga 12m. Kemudian kedalaman retakan tanah (D) dapat dihitung menggunakan persamaan ini:

$$D = \frac{1}{2} a \sqrt{2} \dots\dots\dots(1)$$



(a) Lokasi A1 (b) Lokasi A2
Gambar 2. Hasil dari *Azimuthal Resistivity Technique*

Dari hasil ART sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 2**, dapat diambil beberapa temuan yaitu:

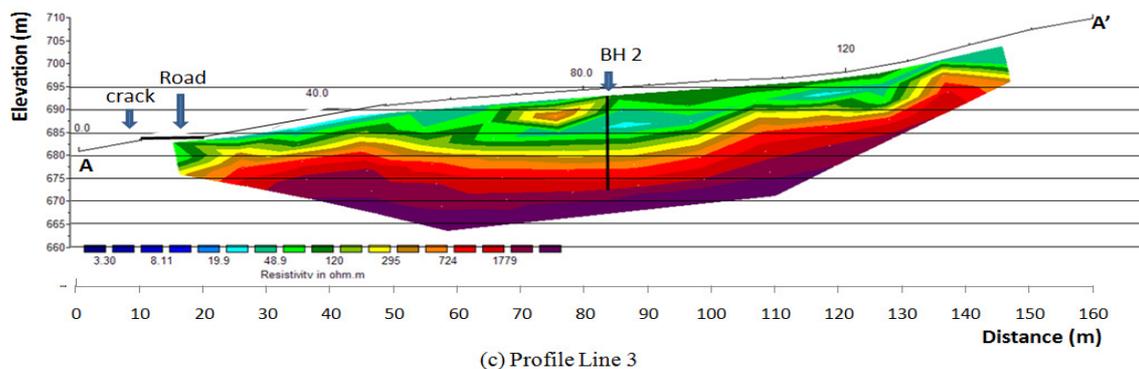
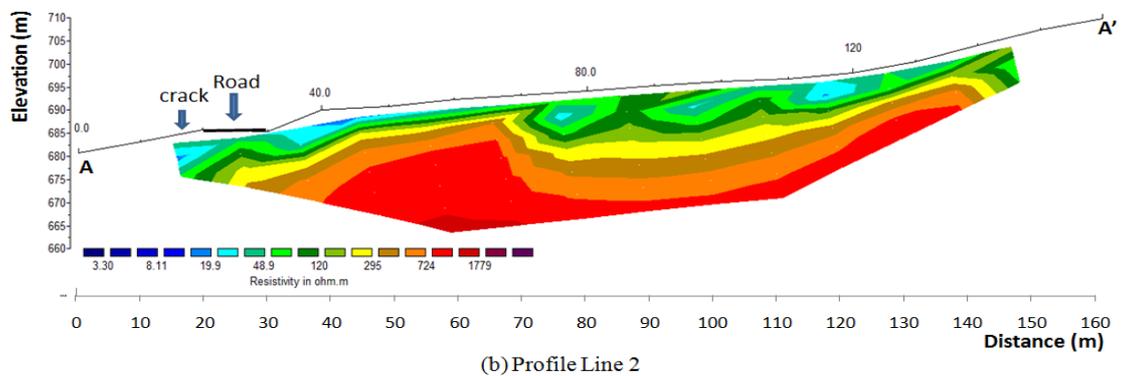
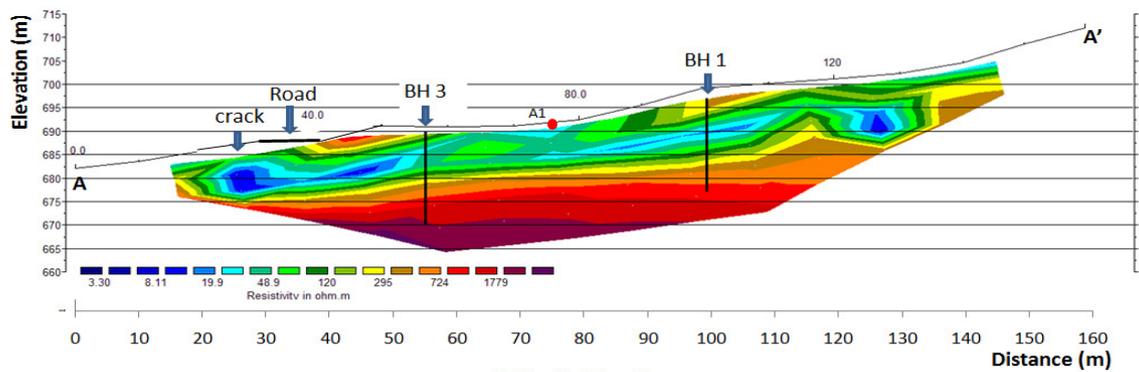
- Di lokasi A1, retakan tanah terdeteksi di arah 135 ° dari utara, dengan kedalaman antara 0 sampai 5,65 m.
- Di lokasi A2, arah retakan ternyata non linier. Dari permukaan sampai kedalaman 1,41 m, retakan dimulai pada sudut 165 ° dari Utara (N 165 E). Kemudian dari kedalaman 1,41 m sampai 4,24 m, arah retakan berubah dengan sudut 180° dari Utara (N 180 E). Selanjutnya dari kedalaman 4,24 m

sampai 5,65 m, arah retakan terletak antara 180° - 195° sudut dari Utara (N 180-195 E).

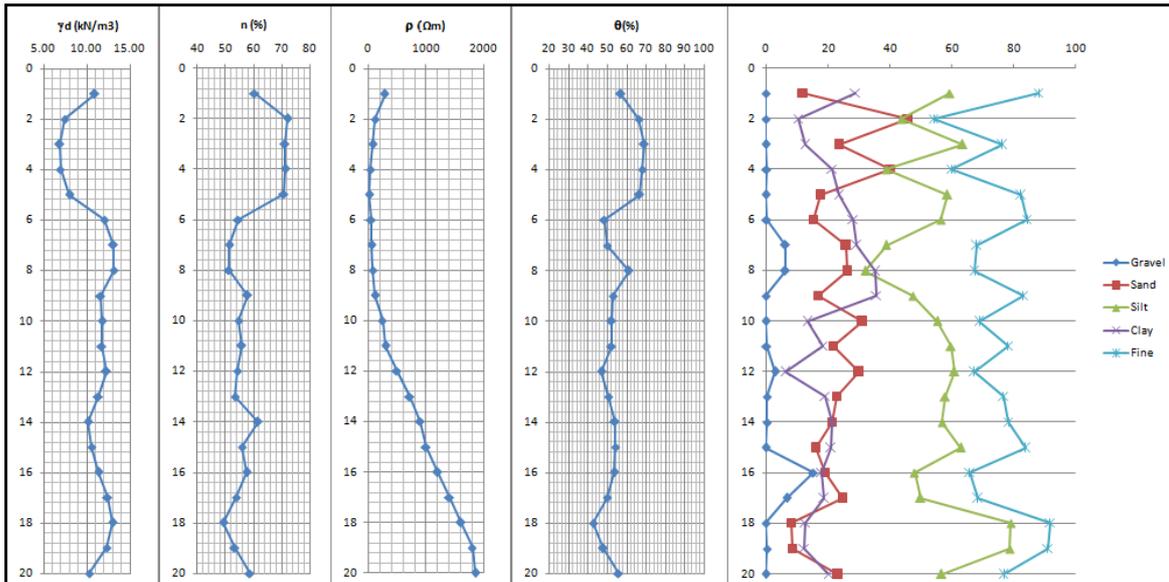
- Hasil ART yang dilakukan di lokasi A2 memastikan keberadaan retakan yang terlihat di permukaan ternyata menerus sampai kedalaman lebih dari 5.65m (**Gambar 1**).
- Hasil ERT dan ART di lokasi A1 menunjukkan konsistensi hasil sehingga lokasi dari retakan tanah yang diamati dapat dipastikan di lereng tanah ini.

PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, penyelidikan geoteknik dilakukan di lokasi penelitian dalam rangka memverifikasi retakan-dalam yang dideteksi menggunakan ERT. Hasil investigasi geoteknik dan ERT selanjutnya dapat digunakan untuk mengembangkan korelasi yang berguna untuk memprediksi parameter lapisan tanah dari data resistivitas tanah. Resistivitas tanah juga dipengaruhi oleh kandungan tanah lempung dan kepadatan tanah di samping oleh kadar air tanah.



Gambar 3. Hasil Visual Dari ERT Di 3 Garis Profil



Gambar 4. Density Parameter, Volumetric Water Content Dan Grainsize Distribution di BH3

Oleh karena itu, untuk mendeteksi lokasi dari retakan tanah, perlu mengetahui parameter tanah lain seperti kepadatan, distribusi grainsize, kadar air. Dalam penelitian ini, keberadaan retakan ditentukan oleh parameter porositas yang tinggi dan kadar air yang tinggi di saat musim penghujan. Parameter-parameter tanah tersebut diperoleh dari penyelidikan tanah di laboratorium yang hasilnya ditampilkan pada **Gambar 4** untuk lokasi pengambilan sample di BH3.

Seperti ditunjukkan dalam **Gambar 4**, zona resistivitas tanah yang rendah ditemukan di kedalaman 2 m sampai 9 m lokasi ini. Pada kedalaman 2 m sampai 5 m diperoleh rata-rata volumetric water content sebesar 70% dan kandungan tanah lempung rata-rata sebesar 18%. Pada kedalaman 6 m sampai 9 m, volumetric water content rata-rata sebesar 50% dan kandungan tanah lempung rata-rata terukur 35%. Oleh karena itu, nilai resistivitas tanah yang rendah pada kedalaman 2 m sampai 5 m lebih disebabkan karena kandungan air yang tinggi. Sedangkan pada kedalaman 6 m sampai 9 m, faktor yang menentukan nilai resistivitas yang rendah adalah kandungan tanah lempungnya. Berdasarkan informasi dan argumen

diatas, dapat diambil pendapat bahwa retakan ditemukan pada kedalaman 2m sampai 5 m. Hal ini kemudian dapat dikonfirmasi lebih lanjut dengan nilai porositas yang tinggi (70%) dan *unit weight* tanah kering yang rendah (7 kN/m³) yang terukur pada kedalaman ini. Sehingga dari hasil ERT yang diukur pada musim penghujan (**Gambar 2a**), dimungkinkan untuk melihat lokasi retakan (pada 2 -5 m kedalaman di BH3) yang dikonfirmasi oleh hasil investigasi geoteknik detail pada BH3. Menggunakan cara yang sama sebagaimana dipaparkan diatas, dari hasil ERT dan tes geoteknik di lokasi BH1 dan BH2 dapat diidentifikasi lokasi retakan-dalam pada kedalaman 7 m sampai 9 m sebagaimana ditampilkan oleh **Gambar 3a** dan **Gambar 3c**.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Resistivitas tanah dapat dipengaruhi oleh kandungan air, kepadatan, dan kandungan tanah lempung.
- Hasil ERT dapat digunakan untuk mendeteksi retakan-dalam di bawah

tanah jika ERT dilaksanakan pada musim penghujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Braga, A., Malagutti, W., Dourado, J., Chang, H.. 1999. Correlation of electrical resistivity and induced polarization data with geotechnical survey standard penetration test measurements. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics* 4, 123–130.
- Busby, J. and Jackson, P. 2006. The Application of Time-lapse Azimuthal Apparent Resistivity Measurement for the Prediction of Coastal Cliff Failure. *Journal of Applied Geophysics*, 59, 261 – 272.
- Chowdhury, R.N. and Zhang, S. 1991. Tension Cracks and Slope Failure. Slope Stability Engineering, *Proc. International Conference*, Isle of Wright, 27-32.
- Craig, R.F. 2004. *Craig's Soil Mechanics*, 7th edition. Spon Press. London.
- Friedel, S., Thielen, A. and Springman, S.M. 2006. Investigation of a Slope Endangered by Rainfall-induced Landslides using 3D Resistivity Tomography and Geotechnical Testing. *Journal of Applied Geophysics*, 60, 100 – 114.
- Giao, P.H., Chung, S.G., Kim, D.Y., Tanaka, H., 2003. Electrical imaging and laboratory resistivity testing for geotechnical investigation of Pusan clay deposits. *Journal of Applied Geophysics* 52, 157–175.
- Li, J. 2009. *Field Experimental Study and Numerical Simulation of Seepage in Saturated/Unsaturated Cracked Soil*. The Hong Kong University of Science and Technology. Hong Kong. PhD Thesis.
- Oh, A. and Sun, C. 2008. Combined Analysis of Electrical Resistivity and Geotechnical SPT blow Counts for the Safety Assessment of Fill Dam. *Environ Geol*, 54, 31 -42.
- Samouelian, A., Cousin, I., Richard, G., Tabbagh, A. and Bruand, A. 2003. Electrical Resistivity Imaging for Detecting Soil Cracking at the Centimetric Scale. *Soil Science Society of America Journal*, 67(5), p. 1319.
- Schmutz, M., Andrieux, P., Bobachev, A., Montoroi, J.P. and Nasri, S. 2006. Azimuthal Resistivity Sounding over a Steeply Dipping Anisotropic Formation: A Case History in Central Tunisia. *Journal of Applied Geophysics*, 60, 213 – 224.
- Senos Matias, M.J. 2002. Square Array Anisotropy Measurement and Resistivity Sounding Interpretation. *Journal of Applied Geophysics*, 49, 185 – 194.
- Sudha, K., Israil, M., Mittal, S. and Rai, J. 2009. Soil Characterization using Electrical Resistivity Tomography and Geotechnical Investigations. *Journal of Applied Geophysics*, 67, 74 – 79.
- Tabbagh, J., Samouelian, A., Tabbagh, A. and Cousin, I. 2007. Numerical Modelling of Direct Current Electrical Resistivity for the Characterisation of Cracks in Soils. *Journal of Applied Geophysics*, 62, 313 – 323.
- Yao, H.L., Zheng, S.H., and Chen, S.Y. 2001. Analysis of the Slope Stability of Expansive Soil considering Cracks and Infiltration of Rainwater. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 23(5): 606-609.
- Zhdanov, M.S., Keller, G.V. 1994. *The Geoelectrical methods in geophysical exploration*. Elsevier, Amsterdam.
- Zhu, T., Feng, R., Hao, J., Zhou, J., Wang, H., Wang, S. 2009. The Application of Electrical Resistivity Tomography to Detecting a Buried Fault: A Case Study. *JEEG*, 14(3), 145 – 151.