

Pengecaman mekanisme utama tanah runtuh cetek di Bukit Fraser, Pahang

(Identification of the main mechanism of shallow landslides in Bukit Fraser, Pahang)

MOHD HARIRI ARIFIN, NOR SHAHIDAH MOHD NAZER*, ABDUL QAYYUM JALAL

Program Geologi, Pusat Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains & Teknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600, UKM Bangi, Selangor, Malaysia
* Corresponding author email address: shahidahnazer@ukm.edu.my

Abstrak: Masalah kestabilan cerun di sekitar Bukit Fraser semakin membimbangkan apabila 22 tanah runtuh cetek dikesan setakat 6 Ogos 2017. Pengecaman mekanisme utama kegagalan cerun cetek dilakukan berdasarkan analisis geologi struktur, kejuruteraan tanah dan geofizik ke atas 6 buah cerun terpilih di sepanjang laluan mendaki dan menuruni Bukit Fraser. Berdasarkan maklumat lineamen rantau, Bukit Fraser mempunyai tiga set lineamen utama berorientasikan Utara-Selatan, Timur Laut-Barat Daya dan Barat Laut-Tenggara. Satu set lineamen yang minor pula berkedudukan Timur-Barat. Sistem saliran bercorak selari ke sub-reranting dan kebanyakkan mengalir ke arah Barat Laut, Timur Laut dan Selatan. Berdasarkan penilaian terhadap aspek kejuruteraan tanah, kesemua cerun bersudut curam melebihi 70° dengan material pembentuk cerun terdiri daripada tanah pasir berlodak (SM) berkeplastikan rendah. Kandungan lodak berkeplastikan rendah (ML) adalah tinggi berbanding lempung bagi kebanyakan cerun menandakan kehadiran bahan organik yang tinggi. Berdasarkan survei keberintangan geoelektrik dan kaedah pengkutuban teraruh, kewujudan bahan tinggi kandungan air terdiri daripada lodak dan pasir bernilai kurang 100 Ωm dapat dicerap pada hampir semua kawasan sub-permukaan cerun. Kehadiran bahan berlodak memperlihatkan nilai kebolehasan yang tinggi iaitu melebihi 10 milisaat dan sebaliknya bagi bahan berpasir. Mekanisme utama kegagalan cerun cetek keseluruhannya disebabkan oleh ketidakseimbangan dinamik cerun meliputi potongan cerun yang amat curam, jasad cerun yang telah sepenuhnya terluluhawa kepada tanah baki bergred VI, kehadiran air yang tinggi di dalam jasad cerun berlodak dan berpasir serta material cerun berkeplastikan rendah dengan indeks kebolehmampatan yang tinggi.

Kata kunci: Mekanisme, tanah runtuh cetek

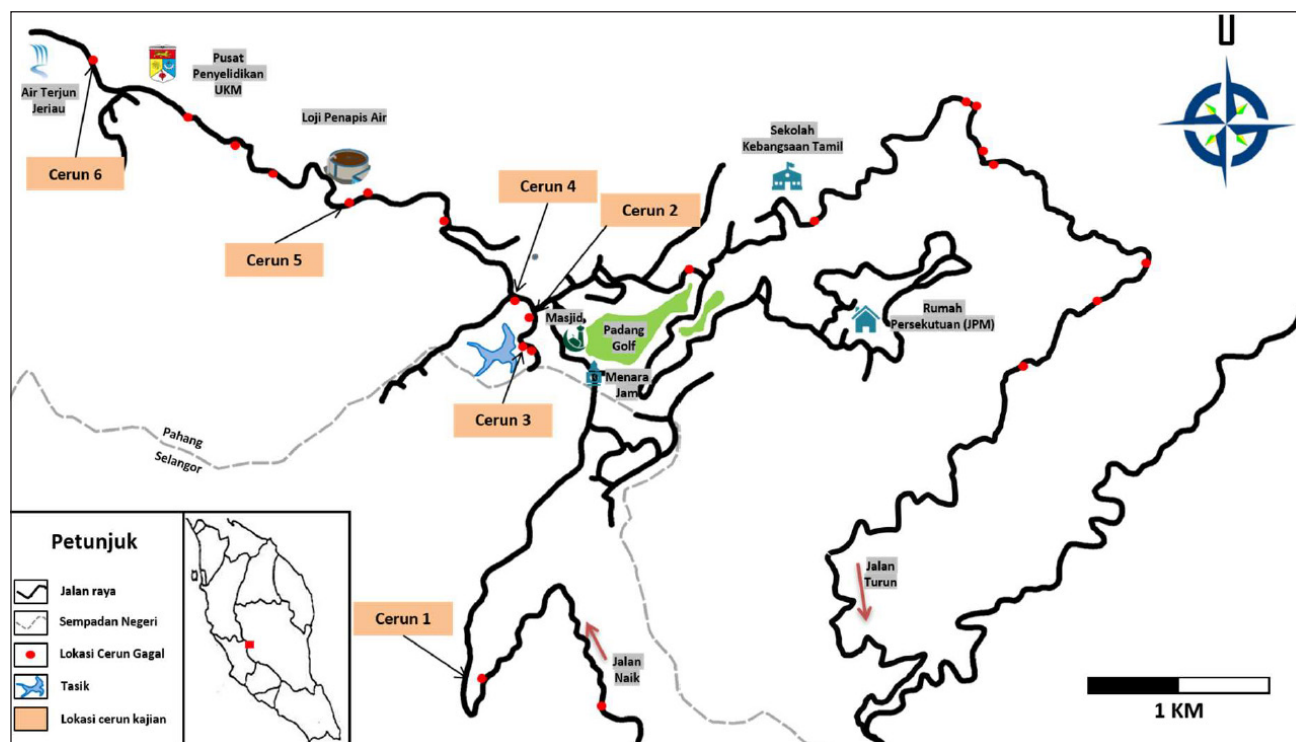
Abstract: Slope stability problems in Bukit Fraser are raising concern where 22 shallow landslides were recorded as of 6 August 2017. Identification of main shallow slope failure mechanisms were done on the basis of structural geology analysis, soil engineering and geophysics from 6 selected slopes along ascending and descending route of Bukit Fraser. Based on the information of the regional lineament, Bukit Fraser consists of 3 lineament sets with North-South, North East-South West and North West-South East orientation. One minor lineament set was oriented to East-West. Fluvial system patterns are parallel to sub-dendritic and flowing mostly to the North West, North East and South direction. According to the engineering geology evaluation of the slope, all slopes angled at about 70° with slope materials consist of sandy soils (SM). The existence of silt of low plasticity (ML) is high as compared to clay for most slopes indicating existence of high organic content. According to the electrical resistivity survey and induced polarization method, the existence of materials with high water content consists of silt and sand with value lower than 100 Ωm can be seen at almost all sub-surface area. The existence of clayey materials is showing higher chargeability values of about 10 milisecond and vice versa for sandy materials. The main mechanisms for shallow slope landslides as a whole are caused by dynamic imbalance of the slopes including steep cut-slope angle, slope materials completely weathered to residual soils of grade VI, high water content existence inside sandy and silty slope materials and also low plasticity slope material with high compressibility indices.

Keywords: mechanisms, shallow landslides

PENGENALAN

Bukit Fraser merupakan kawasan ekopelancongan popular di Malaysia berikutan kedudukannya di tanah tinggi dan beriklim sejuk. Kebanjiran pengujung ke Bukit Fraser saban tahun menjadikan kawasan ini sebagai kawasan tumpuan pelancong selepas Cameron Highland. Namun sepertimana Cameron Highland, kawasan Bukit Fraser juga tidak terlepas

dari masalah ketidakstabilan cerun yang mendorong kepada kejadian tanah runtuh. Tanah runtuh yang lazim berlaku adalah tanah runtuh cetek dimana kedalaman satah gelinciran adalah sekitar beberapa sm hingga beberapa m dari permukaan muka cerun (Milledge *et al.*, 2014). Setakat 6 Ogos 2017, sebanyak 22 tanah runtuh cetek dikenalpasti di sepanjang laluan mendaki, puncak dan menuruni Bukit Fraser (Rajah 1).



Rajah 1: Taburan tanah runtuh cetek di sepanjang laluan mendaki, puncak dan menuruni Bukit Fraser.

Jamaluddin *et al.* (2008) melaporkan kegagalan cerun jenis aliran debris dikesan pada jalan menurun dari Bukit Fraser yang mengandungi bongkah batuan granit dipercayai berpunca daripada kesan air bawah tanah kerana penemuan aliran air pada parut kegagalan utama. Cerun tersebut dibina pada batuan granit yang terluluhawa tinggi hingga terluluhawa sepenuhnya. Pada tahun yang sama, Wangsa & Rafek (2008) menjalankan analisis kinematik kestabilan cerun di Bukit Fraser. Hasil daripada survei ketakselajaran yang dilakukan menunjukkan empat set ketakselajaran yang dikesan pada jalan mendaki Bukit Fraser dengan arah kemiringan 301° , 38° , 200° , dan 60° dari Utara.

Pencirian fizikal cerun ditekankan oleh kebanyakan pengkaji yang mengkaji aspek kestabilan cerun cetek. Cirian tanah runtuh cetek berdasarkan Milledge *et al.* (2014) meliputi 3 justifikasi iaitu; kedalaman sehingga 3 m dengan luas 101-104 m², panjang yang melebihi lebar dan lebar melebihi kedalaman dan kedalaman berskala anggaran punca kuasa dua terhadap luas cerun cetek. Selain itu, cirian kekuatan akar turut mempengaruhi kestabilan cerun cetek di mana penebangan pokok menyebabkan kekuatan mensisi akar berkurang menyebabkan peningkatan sebaran kawasan tidak stabil pada cerun (Dietrich *et al.*, 2007). Kehadiran material arenit menyebabkan 'kebocoran' air ke dalam cerun dan berfungsi meningkatkan tekanan air liang lalu mengurangkan kekuatan ricih cerun (Avanzi *et al.*, 2013).

Suatu kajian terperinci melibatkan aspek geologi struktur, kejuruteraan tanah cerun dan survei geofizik keberintangan elektrik dan pengutuban teraruh telah

dijalankan ke atas 6 cerun terpilih bagi mengecam mekanisme utama yang mengawal tanah runtuh cetek di Bukit Fraser. Kajian memfokuskan analisis di lapangan dan makmal sambil dibantu oleh pentafsiran geologi kejuruteraan. Maklumat kajian dapat memberi gambaran awal sifat tanah runtuh cetek di Bukit Fraser dan menjadi asas kepada kajian yang lebih mendalam di masa akan datang.

KAEDAH KAJIAN

Pada peringkat awal kajian, pengambilan maklumat geologi am cerun dilakukan di lapangan melalui inventori cerun. Ia meliputi pengambilan bacaan jurus miring pada batuan dan struktur relikta (tanah), penandaan lokasi cerun menggunakan alat *Global Positioning System* (GPS) bagi koordinat kawasan, serta merekodkan parameter-parameter fizikal cerun seperti sudut, lebar, tinggi, kehadiran air, litupan tumbuhan, jenis kegagalan dan gred luluhawa batuan/tanah.

Persampelan tanah terganggu dilakukan bagi menjalankan analisis kejuruteraan tanah di makmal. Sampel diambil pada permukaan kegagalan (satah gelinciran) dan disimpan di dalam plastik kedap udara. Bagi analisis saiz butiran, kaedah ayakan dan hidrometer dijalankan. Bagi penentuan sifat konsistensi, analisis had Atterberg dijalankan bagi mendapatkan maklumat indeks keplastikan, had cecair dan had plastik sampel tanah cerun.

Survei geofizik dijalankan di bahagian atas cerun cetek yang gagal, iaitu di sepanjang tubir tanah runtuh. Kaedah keberintangan geoelektrik dan pengutuban teraruh digunakan di mana susun atur Schlumberger dipilih.

Melalui susunatur ini, setiap garisan survei menggunakan 41 batang elektrod dan 42 klip yang dihubungkan dengan pemilih elektrod model ES464 melalui dua kabel utama. Jarak pada setiap elektrod adalah sama dan bergantung pada jumlah panjang garisan survei semasa di lapangan. Pemrosesan dan analisis geofizik dilakukan menggunakan perisian RES2DINV di mana data keberintangan lapangan ditukar kepada data keberintangan ketara bagi janaan imej subpermukaan.

ANALISIS DAN PERBINCANGAN

Pemetaan lineamen secara rantau telah dilakukan bagi melihat taburan lineamen di kawasan Bukit Fraser. Terdapat tiga set lineamen utama dikenali masing-masing berorientasikan Utara-Selatan, Timur Laut-Barat Daya, dan Barat Laut-Tenggara. Satu set lineamen minoriti juga dapat dikesan pada kedudukan Timur-Barat. Set-set ini sejajar dengan zon taburan tanah runtuh cetek di kawasan kajian. Cerapan ke atas tributari sungai menunjukkan persamaan terhadap set lineamen utama dengan pola bertransisi selari ke sub-reranting. Ini berkait secara langsung dengan morfologi tanah tinggi Bukit Fraser yang berlembah curam.

Berdasarkan Jadual 1, kandungan pasir adalah paling tinggi berbanding lodak dan lempung. Kandungan pasir melebihi 80% kandungan tanah. Ini dipengaruhi oleh darjah luhuhawa dimana semakin pesat luhuhawa, semakin meningkat saiz butiran pasir dengan pertambahan kedalaman

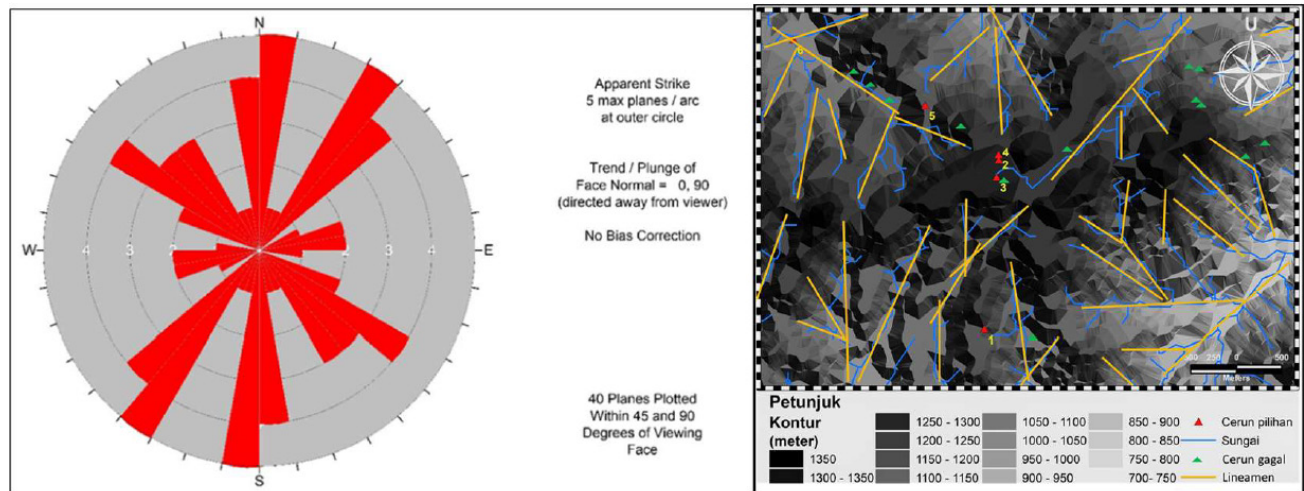
(Da Fonseca *et al.*, 2006). Kandungan pasir yang tinggi pada sampel tanah adalah dibentuk oleh mineral kuarza yang tahan kepada luluhawa berbanding mineral feldspar yang merupakan mineral utama bagi batuan granit. Tanah baki daripada protolitos granit mempunyai kandungan pasir yang tinggi berbanding lempung dan lodak kerana kehadiran mineral kuarza yang banyak (Kusnaeny, 1973). Bagi butiran halus, kehadiran lodak pada kebanyakan cerun melebihi jumlah lempung kecuali cerun 2 dan 5. Jumlah lempung secara puratanya kurang 5% berbanding lodak. Kerikil dijumpai dalam taburan rendah ke sederhana namun penekanan adalah terhadap 3 taburan tanah utama sahaja.

Melalui graf taburan saiz butiran (Rajah 3), nilai pekali keseragaman (*coefficient of uniformity, C_u*) dan pekali lengkungan (*coefficient of gradation, C_c*) diperoleh berdasarkan rumus (1) dan rumus (2).

$$C_u = d_{60} / d_{10} \tag{1}$$

$$C_c = (d_{30})^2 / d_{60}d_{10} \tag{2}$$

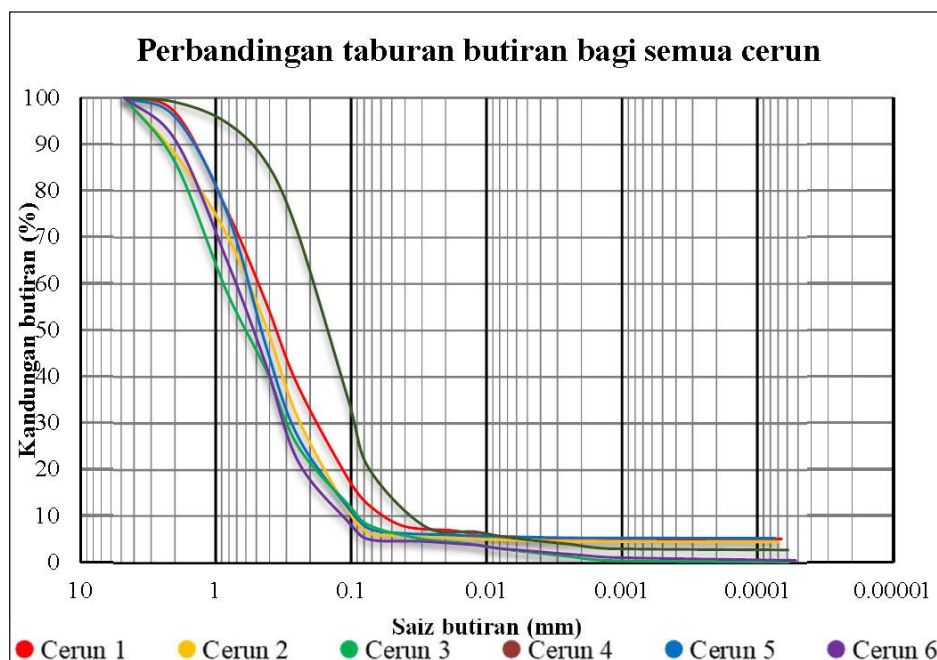
Dimana C_u adalah pekali keseragaman, C_c adalah pekali lengkungan, d₁₀ adalah diameter bagi 10% butiran terhalus, d₃₀ adalah diameter bagi 30% butiran terhalus dan d₆₀ adalah diameter bagi 60% butiran terhalus. Jadual 2 menunjukkan nilai C_c dan C_u bagi setiap taburan saiz butiran di 6 cerun cetek yang gagal. Nilai C_u secara purata adalah lebih 4, menandakan tanah bergred baik. Istilah bergred baik dalam



Rajah 2: Gambarajah mawar bagi set-set lineamen utama dan taburan lineamen rantau dan tributari sungai di kawasan Bukit Fraser.

Jadual 1: Taburan saiz butiran pada satah gelinciran.

Cerun	Cerun 1	Cerun 2	Cerun 3	Cerun 4	Cerun 5	Cerun 6
Kerikil (%)	3.18	12.12	13.94	0.95	4.18	9.10
Pasir (%)	85.65	81.58	77.93	78.71	88.51	86.00
Lodak (%)	6.93	1.90	6.82	16.64	2.11	3.49
Lempung (%)	4.23	4.40	1.30	3.70	5.20	1.40



Rajah 3: Graf perbandingan peratusan taburan butiran bagi kesemua cerun.

Jadual 2: Nilai pekali keseragaman dan pekali lengkungan bagi 6 cerun cetek.

Cerun	Cerun 1	Cerun 2	Cerun 3	Cerun 4	Cerun 5	Cerun 6
d_{10}	0.055	0.175	0.037	0.190	0.0180	0.240
d_{30}	0.18	0.25	0.095	0.31	0.28	0.33
d_{60}	0.50	0.81	0.098	0.9	0.71	0.70
C_u	9	4.6	2.6	4.7	16	2.9
C_c	1.17	0.44	2.49	0.56	6.13	0.64

Jadual 3: Pengelasan Had Atterberg bagi butiran halus setiap cerun.

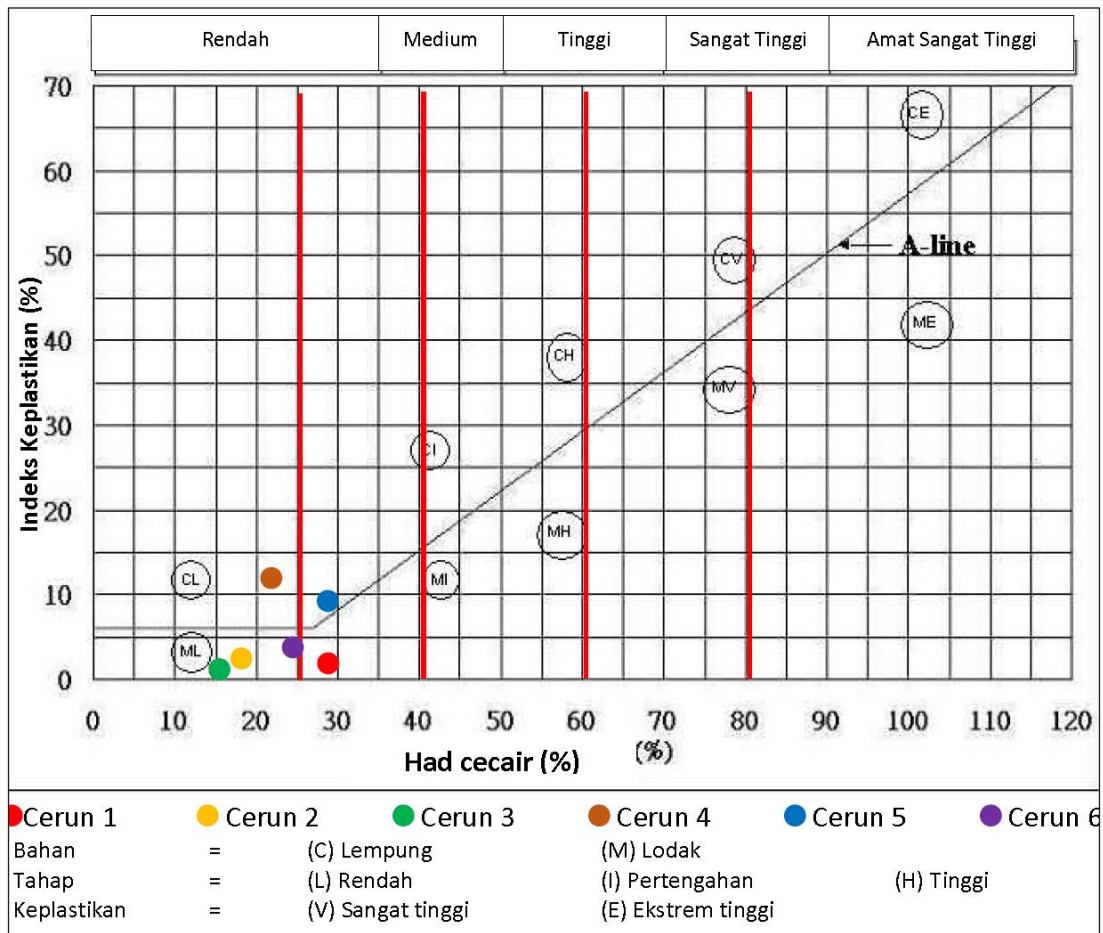
Cerun	Cerun 1	Cerun 2	Cerun 3	Cerun 4	Cerun 5	Cerun 6
Had cecair (%)	37.2	27.5	25.50	32.1	37.30	34.5
Had plastik (%)	33.45	23.25	24.11	21.75	28.14	30.3
Indeks keplastikan (%)	3.75	4.25	1.39	10.35	9.16	4.2

konteks ini adalah kehadiran semua saiz butiran di dalam tanah. Nilai C_c pula memperlihatkan bacaan purata antara 1-3 juga menandakan butiran bergred baik.

Pencirian Had Atterberg ke atas butiran halus sampel tanah cetek mendapati julat had cecair sampel tanah sekitar 25.5% – 37.2% manakala had plastik sebanyak 21.75% – 33.45% (Jadual 3). Indeks keplastikan yang rendah menunjukkan dominasi lodak berbanding lempung dengan sifat kejelekitan yang rendah. Rajah 4 menunjukkan carta Indeks Keplastikan bagi tanah cerun cetek yang gagal dimana 4 sampel dikategorikan sebagai lodak berkeplastikan rendah (ML) dan 2 sampel sebagai lempung berkeplastikan rendah

(CL) atau juga dikenali sebagai lempung kurus (*lean clay*). Tanah CL dan ML terkandung bahan organik di dalamnya dan mempunyai indeks pengembang dan pengecutan yang rendah berbanding tanah dengan kehadiran lempung gemuk (*fat clay*).

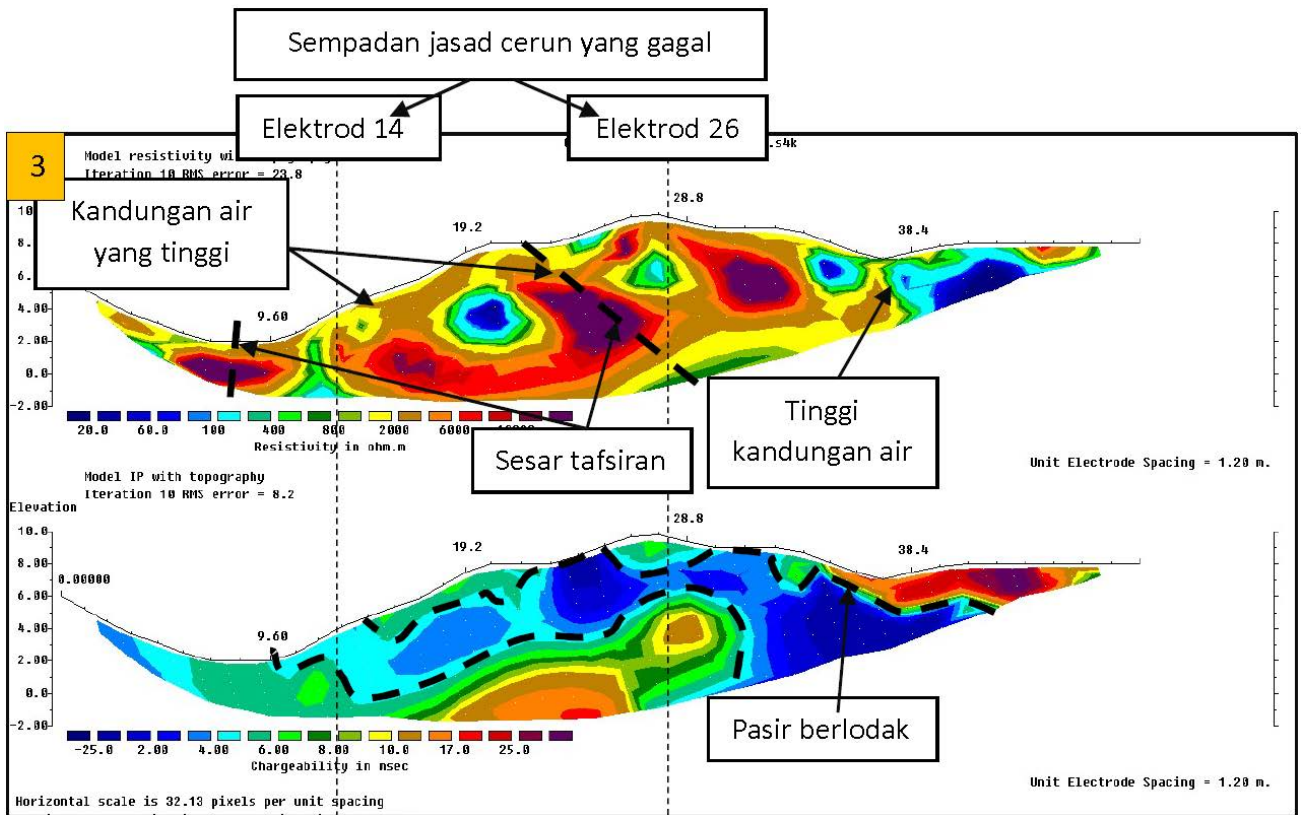
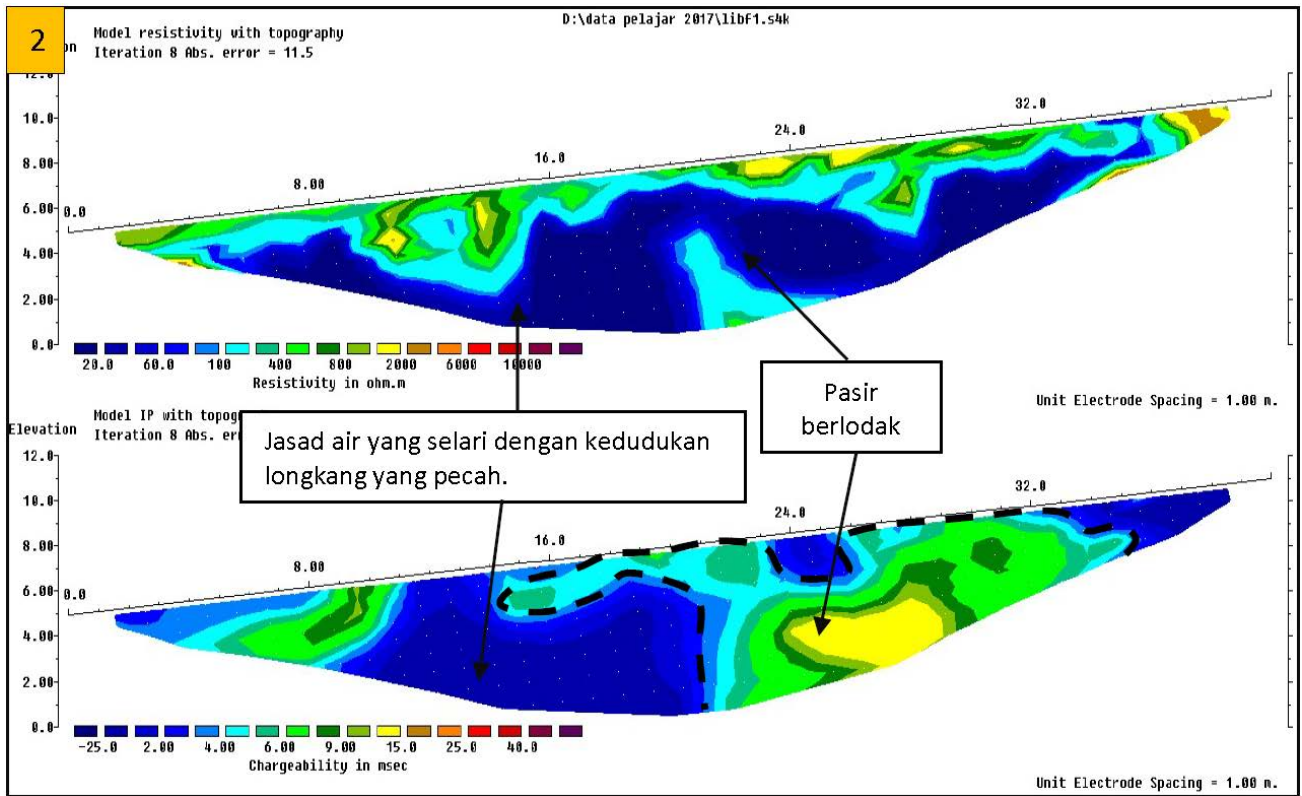
Jenis kegagalan kesemua cerun yang dikaji adalah aliran puing jenis putaran dan translasi (Rajah 5). Aliran puing jenis putaran lazimnya berlaku pada tanah bergred luhawa V-V1 yang terletak di bahagian teratas cerun manakala jenis translasi berlaku pada gred luhawa IV-V (Ietto *et al.*, 2016). Jadual 4 menunjukkan huraian kegagalan cerun yang direkodkan melalui inventori lapangan. Kesemua cerun



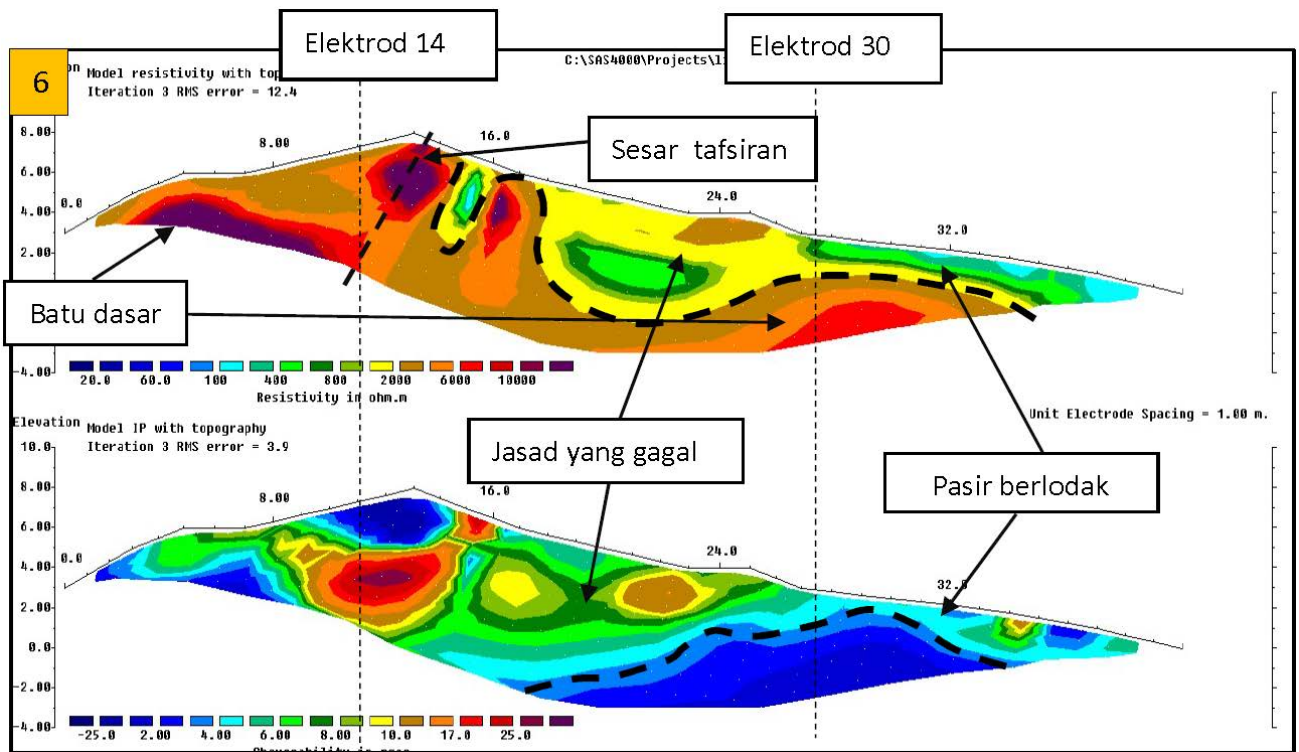
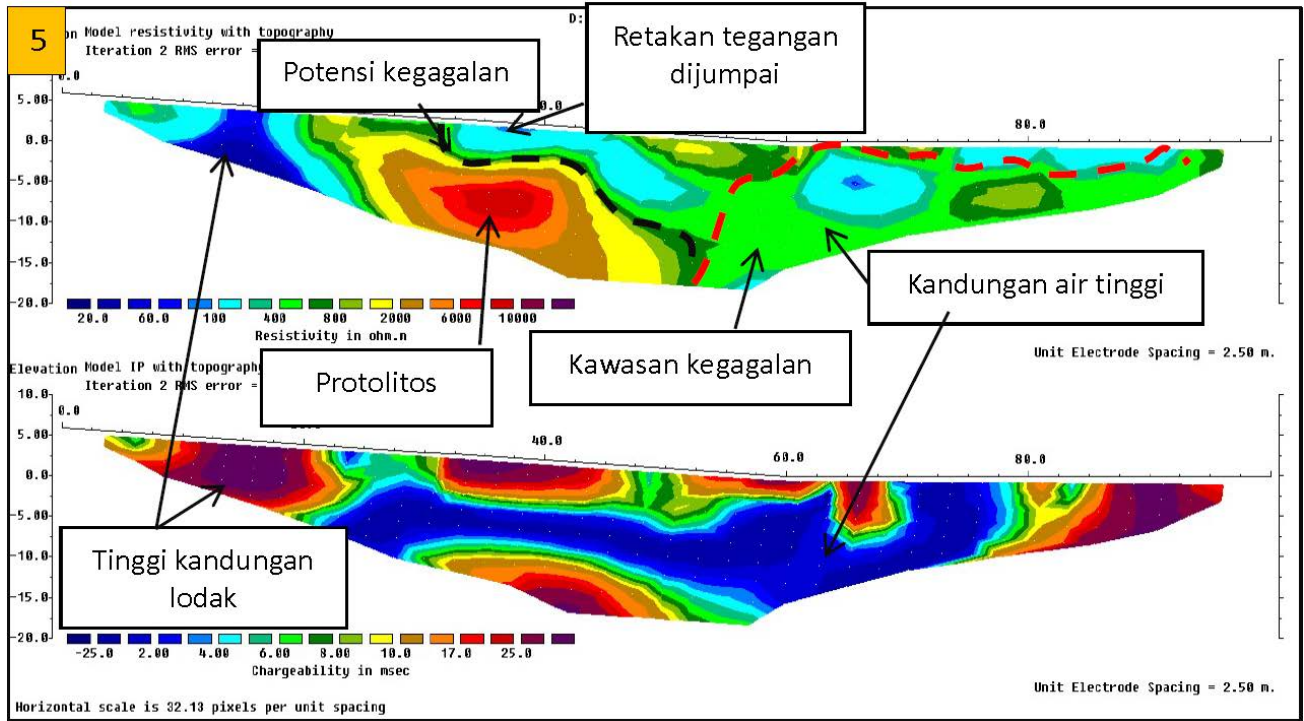
Rajah 4: Carta Indeks Keplastikan diubahsuai dari *British Soil Classification System* (BS5930: 1981).



Rajah 5: Kegagalan cerun secara putaran (1, 3, 4) dan translasi (2, 5, 6).



Rajah 6: Imej pseudo 2-Dimensi cerun 2, 3, 5 dan 6.



Rajah 6: Imej pseudo 2-Dimensi cerun 2, 3, 5 dan 6 (sambungan).

Jadual 4: Huraian kegagalan cerun 1-6 melalui inventori lapangan.

Cerun	Huraian
1	Cerun bersudut 74° dengan tinggi cerun 8 m. Kegagalan berskala kecil dengan kepadatan tumbuhan renek tinggi. Kegagalan putaran berlaku di kaki tebing bukit. Tiga set struktur ketakselajaran dapat dikesan pada struktur reliкта iaitu U302°T/66°, U48°T/70°, U148°T/58°.
2	Cerun bersudut hampir tegak (>80°) dengan ketinggian 8 m dan lebar 12 m. Cerun ditutupi kanvas kerana kegagalan aktif yang masih berlaku. Terdapat longkang pecah di atas cerun memberi indikasi awal resapan air longkang ke dalam cerun. Kegagalan translasi berlaku di tebing jalan raya.
3	Cerun bersudut 68° dan berketinggian 7 m. Kegagalan masih aktif berdasarkan timbunan tanah ke atas kanvas. Kegagalan putaran berlaku di kaki tebing bukit.
4	Cerun kecil bersudut 70° dengan ketinggian dan kelebaran 2 m. Kehadiran air terkumpul di kaki cerun menggambarkan pengumpulan jasad air di dalam cerun. Tanah di bahagian cerun ini amat lembap menggambarkan kandungan air liang yang tinggi di dalam tanah. Kegagalan putaran.
5	Cerun masif bersudut 78° dengan lebar 38 m. Kewujudan jasad air bawah tanah telah melemahkan struktur kaki cerun. Cerun ini pada asalnya telah dibina struktur penahan jenis <i>gabion wall</i> . Kegagalan translasi mengakibatkan jatuhnya jasad cerun dengan isipadu yang besar menuruni cerun. Secara morfologinya, cerun ini terletak di kawasan lembah. Retakan tegangan di jumpai menjalar di bahagian kiri cerun.
6	Cerun bersudut 76° dengan ketinggian 11 m pula berkedudukan atas potongan sesar dan dibina terlalu tegak (76°). Kegagalan cerun ini adalah jenis traslasi. Kegagalan translasi cetek berlaku di seluruh tebing cerun.

yang dikaji merupakan kegagalan kali pertama kecuali cerun 3 yang tanah runtuh ulangan.

Analisis survey geofizik di jalankan ke atas 4 cerun terpilih iaitu cerun 2, 3, 5 dan 6 (Rajah 6). Pemerhatian ke atas imej *pseudo 2-Dimensi* merumuskan kesamaan kewujudan bahan tinggi kandungan air terdiri daripada lodak dan pasir dengan nilai keberintangan kurang 100 Ωm pada hampir semua kawasan sub-permukaan cerun. Kehadiran bahan berlodak memperlihatkan nilai kebolehcasan yang tinggi melebihi 10 milisaat dan sebaliknya bagi bahan berpasir.

Kewujudan kawasan tinggi air ini berlaku pada zon vados dan dipengaruhi oleh aras air bertenggek (*perched water table*). Ketebalan lapisan tanah pasir berlodak tinggi air berlaku pada kedalaman 3-5 m dari permukaan cerun cetek. Nilai keberintangan tanah yang berubah-ubah menggambarkan keadaan cerun yang heterogen. Kewujudan satah menonjol yang memotong muka cerun dengan nilai keberintangan tinggi mendadak pada cerun 3 dan 6 ditafsirkan sebagai sesar. Perbezaan sesar terhadap protolitos (batuan dasar) seperti yang terdapat di cerun 5 dan 6 adalah melalui nilai kebolehcasan yang rendah dimana kehadiran sesar membenarkan pengaliran air kedalam cerun di sepanjang satah lemah.

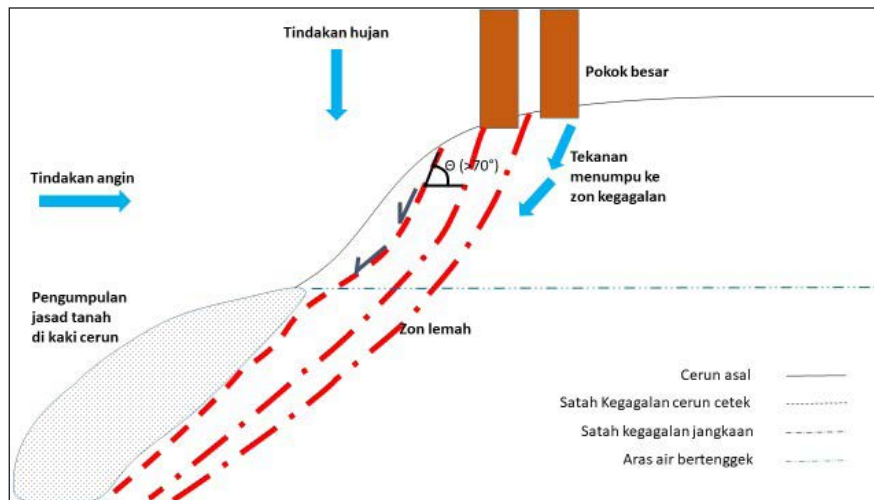
Berdasarkan integrasi analisis geologi struktur, pencirian kejuruteraan tanah dan imej sub-permukaan, mekanisme utama kegagalan cerun adalah dikenali pasti. Kestabilan cerun bergantung secara langsung kepada material pembentuk cerun. Pasir berlodak merupakan tanah anisotropi berliang dan berbutir yang memperlihatkan kebolehmampatan mengikut nisbah tekanan bergantung kepada masa (Casini *et al.*, 2010). Oleh itu potensi ketidakstabilan sepanjang kekuatan mampatan tak tersalir dipengaruhi oleh kehadiran bahan berlempung bergantung

masa maka, cerun cetek cenderung kelihatan stabil di dalam keadaan tidak stabil.

Faktor hidrologi ke atas muka cerun dikawal oleh liang makro tanah. Kekonduksian hidraulik tanah pasir berlodak berkurang dengan kedalaman dan dipengaruhi oleh aras air bertenggek (*perched water table* secara sisian tepu sub-permukaan (Pirastru *et al.*, 2017). Pengumpulan air akibat halangan resapan oleh lapisan ketat di bawah tanah membentuk aras air bertenggek pada zon vados yang bertindak meningkatkan tekanan air liang, U_w . Keadaan ini mendorong aliran air ke arah kaki cerun lalu membentuk air larian permukaan (Wienhöfer & Zehe, 2014). Aliran dinamik resapan merendahkan tekanan air liang negatif, $-U_w$ pada zon vados sekaligus merendahkan tekanan efektif ricihan tanah, t' .

Nilai Indeks Keplastikan (PI) yang rendah menandakan kehadiran bahan organik yang tinggi di dalam tanah. Kandungan organik yang tinggi mengurangkan kekuatan tanah akibat pertambahan liang dan meningkatkan tahap kebolehtelapan tanah. Keadaan ini berasosiasi dengan aras air bertenggek seperti yang dibincangkan di atas namun tertumpu di zon permukaan akibat penyusutan bahan organik mengikut kedalaman. Kawalan struktur reliкта pada tanah cerun masih relevan dan dibuktikan oleh jumpaan sesar pada beberapa cerun cetek yang gagal. Satah sesar menjadi laluan resapan air apabila hujan dan melincirkan permukaan gelinciran akibat pengembangan lempung (Kama *et al.*, 2006). Kehadiran struktur reliкта mengawal satah kegagalan bagi cerun kegagalan janaan pemotongan (Jamaluddin & Deraman, 2000).

Rajah 7 merangkumkan mekanisme utama kegagalan cerun cetek. Ketidakseimbangan dinamik cerun mendorong kepada pembentukan zon lemah pada muka cerun. Zon



Rajah 7: Gambar rajah skema mekanisme utama kegagalan cerun cetek di Bukit Fraser.

lemah merupakan kawasan aras air bertenggek ditandai kewujudan tanah pasir berlodak bergred luluhawa V-VI dengan kandungan bahan organik yang tinggi. Potongan sudut cerun yang amat curam mengawal pergerakan puing menuruni cerun mengikut graviti. Sebaran rekahan tegangan sebagai satah kegagalan jangkaan berpotensi menukar kegagalan cerun cetek kepada kegagalan duduk dalam (deep seated) dan berskala besar di masa akan datang.

KESIMPULAN

Kegagalan cerun cetek di Bukit Fraser dipengaruhi oleh pelbagai mekanisme utama dan ianya saling berkait rapat antara satu sama lain. Tambahan analisis kekuatan ricih dan analisis stereonet diperlukan bagi melihat perkaitan aspek mekanik dan kinematik cerun terhadap kegagalan tanah runtuh cetek. Kajian cerun cetek secara mendalam membantu pemahaman dinamik cerun secara keseluruhannya dan menyokong pembentukan komuniti yang lestari dan harmoni.

PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan jutaan terima kasih kepada Pusat Penyelidikan Bukit Fraser UKM kerana bantuan yang diberikan sepanjang kajian ini dijalankan. Tidak dilupakan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia di atas tajaan dana penyelidikan melalui Geran Galakan Penyelidik Muda melalui kod geran, GGPM-2019-003.

RUJUKAN / REFERENCES

Avanzi, G.A., Galanti, Y., Gianecchini, R., Presti, D.L. & Puccinelli, A., 2013. Estimation of soil properties of shallow landslide source areas by dynamic penetration tests: first outcomes from Northern Tuscany (Italy). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 72(3-4), 609-624.

Casini, F., Jommi, C. & Springman, S., 2010. A laboratory investigation on an undisturbed silty sand from a slope prone to landsliding. *Granular Matter*, 12(3), 303-316.

Da Fonseca, A.V., Carvalho, J., Ferreira, C., Santos, J.A., Almeida, F., Pereira, E., Feliciano, J., Grade, J. & Oliveira, A., 2006. Characterization of a profile of residual soil from granite combining geological, geophysical and mechanical testing techniques. *Geotechnical & Geological Engineering*, 24(5), 1307-1348.

Dietrich, W.E., McKean, J., Bellugi, D. & Perron, T., 2007, September. The prediction of shallow landslide location and size using a multidimensional landslide analysis in a digital terrain model. In *Proceedings of the fourth international conference on debrisflow hazards mitigation: Mechanics, prediction, and assessment (DFHM-4)*. Chengdu, China (pp. 10-13).

Milledge, D., Bellugi, D.G., McKean, J.A., Densmore, A.L. & Dietrich, W.E., 2014. Controls on Shallow Landslide Area, Depth, and Shape. In: *AGU Fall Meeting Abstracts*.

Itto, F., Perri, F. & Cella, F., 2016. Geotechnical and landslide aspects in weathered granitoid rock masses (Serre Massif, southern Calabria, Italy). *Catena*, 145, 301-315.

Jamaluddin, T.A. & Deraman, M.F., 2000. Relict structures and cut slope failures in highly to completely weathered rocks along Jalan Tg. Siang, Kota Tinggi, Johor. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 46, 305-312.

Jamaludin, T.A., Lim C.S. & Ibrahim K., 2009. Debris flow geohazards – an alarming disaster risk in Malaysia. *3rd Japan-Malaysia Symposium in Geohazards and Geoenvironmental Engineering, Geotechnical & Ecological Environmental Management for Global Sustainability*. Page 33-39.

Kama, M., Taib, S.H. & Abdullah, M., 2006. Discontinuity controlled cut-slope failures on weathered low grade metamorphic rocks along the east-west highway, Grik to Jeli.

Kusnaeny, K., 1973. Granite weathering profile. *Sains Malaysiana* 2(2), 105-149.

Pirastu, M., Marrosu, R., Di Prima, S., Keesstra, S., Giadrossich, F. & Niedda, M., 2017. Lateral saturated hydraulic conductivity of soil horizons evaluated in large-volume soil monoliths. *Water*, 9(11), 862.

Roopnarine, R., Eudoxie, G. & Opadeyi, J., 2013. Soil friction angle as an instability factor in landslide susceptibility modeling. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 3(1), 55-71.

Wangsa, A. H. & Rafek, A.G., 2008. Kinematic and block theory

application to rock slope stability analysis at Fraser's Hill, Pahang, Malaysia. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 13.

Wienhöfer, J. & Zehe, E., 2014. Predicting subsurface stormflow response of a forested hillslope—the role of connected flow paths. Hydrology and Earth System Sciences, 18(1), 121-138.

Manuscript received 4 March 2019
Revised manuscript received 10 April 2019
Manuscript accepted 7 October 2019