

Parut Tanah Runtuh dan Potensinya

Mohd Fairuz Bachok

ABSTRAK

Pergerakan jisim sama ada batu, lempung atau tanah menuju ke arah bawah cerun dikenali sebagai tanah runtuh. Tanah runtuh mendatangkan kesan-kesan buruk seperti kerosakan harta benda dan kehilangan nyawa terutamanya di kawasan yang berkepadatan penduduk tinggi. Pelbagai pihak telah mengambil inisiatif sama ada menyediakan garis panduan atau menghasilkan teknologi dalam menangani masalah tanah runtuh ini. Parut tanah runtuh adalah permukaan yang terdedah pada cerun akibat daripada pergerakan jisim bumi dimana kejadian tanah runtuh bermula. Penulis berpandangan bahawa pengetahuan dan data-data parut tanah runtuh mempunyai 3 potensi dalam praktikal Kejuruteraan Awam iaitu panduan tambahan lokasi pengambilan sampel tanah, panduan tambahan lebar bahu jalan dan simulasi dan ramalan. Potensi parut tanah runtuh diperincikan dan dijelaskan dengan mengambil contoh data-data parut tanah runtuh yang telah dikumpul. Penulis juga mencadangkan bagaimana pengetahuan dan data-data parut tanah runtuh boleh dinilai dan ditentukan potensinya dalam praktikal bidang Kejuruteraan Awam. Lemparan idea dan pandangan ini diharapkan dapat membantu sedikit sebanyak dalam memberi panduan atau maklumat tambahan terutamanya dalam mengenalpasti risiko tanah runtuh dan ramalan kesan-kesan akibat runtuhan tanah. Disamping itu, ianya diharapkan dapat mencetuskan idea untuk kajian-kajian pada masa depan dalam menggunakan pengetahuan dan data-data parut tanah runtuh ini berserta panduan tambahan garis panduan sedia ada supaya kesan-kesan negatif akibat tanah runtuh dapat dielakkan atau sekurang-kurangnya diminimakan.

Kata kunci : *parut tanah runtuh, potensi, praktikal dan bidang Kejuruteraan Awam*

Pengenalan

Tanah runtuh merupakan salah satu daripada proses-proses semulajadi yang membentuk permukaan bumi. Mengikut definisi, tanah runtuh adalah pergerakan jisim samada batu, lempung atau tanah menuju ke arah bawah cerun (Cruden & Varnes, 1996). Varnes (1978) telah

mengklasifikasikan tanah runtuh kepada 5 jenis iaitu jatuhan, tumbang, gelongsoran, hamparan sisi dan aliran berdasarkan kepada pergerakan dan jisim.

Kejadian tanah runtuh disebabkan oleh beberapa faktor iaitu geologi, morfologi, fizikal dan aktiviti-aktiviti manusia dimana faktor-faktor ini boleh dipecahkan kepada 3 kumpulan utama iaitu persediaan, pencetus dan kawalan (Crozier, 1986; Wieczorek, 1996). Ini dapat ditunjukkan seperti berikut :

Persediaan

Ini ialah faktor yang menyebabkan cerun mudah dipengaruhi untuk bergerak tanpa memulakannya dan kemudiannya cenderung untuk meletakkan cerun tersebut secara marginal ke keadaan yang stabil seperti jenis batuan dan struktur tanah.

Pencetus

Ini ialah faktor yang memulakan pergerakan dan perubahan cerun daripada keadaan yang stabil secara marginal kepada keadaan yang tidak stabil secara aktif seperti gempa bumi, hujan dan letusan gunung berapi.

Kawalan

Ini ialah faktor yang menentukan keadaan pergerakan apabila pergerakan berlaku dari segi bentuk, kadar dan tempoh seperti topografi.

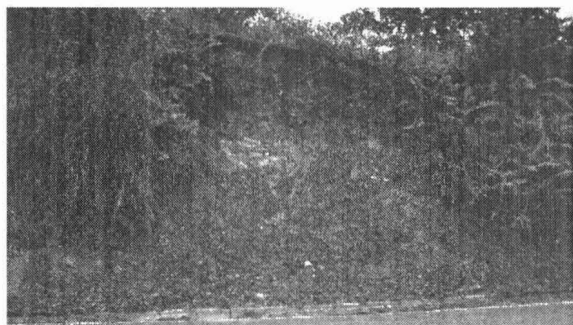
Tanah runtuh akan menjadi ancaman kepada manusia apabila prosesnya mendatangkan bahaya kepada nyawa dan harta benda. Masalah tanah runtuh ini telah menjadi antara masalah utama di kebanyakan negara bukan sahaja mengakibatkan kerosakan daripada masa ke semasa tetapi juga membabitkan kehilangan nyawa (Ercanoglu, Gokceoglu, dll, 2003). Selain daripada menyebabkan kecederaan dan kehilangan nyawa kepada manusia, tanah runtuh juga merosakkan infrastruktur seperti jalan raya, landasan keretapi, terusan, bangunan, saliran paip dan lain-lain lagi. Kerosakan infrastruktur ini menyebabkan kerugian membabitkan sehingga berbilion ringgit. Di Malaysia sendiri, kebanyakan tanah runtuh berlaku pada cerun-cerun samada yang dipotong atau ditambak di jalan-jalan lereng-lereng bukit dan berdekatan tempat-tempat kediaman di tanah tinggi.

Melihat kepada risiko tanah runtuh ini, pelbagai pihak telah memperkenalkan beberapa langkah bagi mengelak, mengatasi ataupun meminimakan risiko tanah runtuh ini. Sebagai contoh, Institut Jurutera Malaysia telah menggariskan beberapa langkah yang perlu dipatuhi dalam merancang pembangunan di tanah tinggi dimana perancangan ini

merangkumi 4 bahagian utama iaitu kajian awalan, peninjauan tapak, penyiasatan tapak dan perancangan bentangan. Kajian awalan merupakan kajian merangkumi semakan ke atas peta-peta geologi, peta topografi dan foto-foto udara dimana ianya bertujuan supaya para jurutera memahami formasi geologi lapangan. Peninjauan tapak adalah untuk mengesahkan maklumat-maklumat yang diperolehi melalui kajian awal dan mengumpul maklumat-maklumat tambahan di lapangan. Manakala penyiasatan tapak pula adalah bertujuan untuk mengetahui keadaan lapangan secara umum untuk keseluruhan tapak dan secara terperinci bagi kawasan-kawasan tertentu. Perancangan bentangan adalah bertujuan untuk melihat kesesuaian perancangan pembangunan dengan keadaan semulajadi kontur tapak.

Selain daripada langkah-langkah yang perlu dipatuhi, teknologi tertentu turut juga digunakan. Sebagai contoh, penggunaan 'Geographic Information System' (GIS) dapat menghasilkan peta risiko tanah runtuh sesuatu tempat dengan menggunakan asas/lapisan seperti guna tanah, litologi, geomorfologi, struktur geologi, taburan kejadian tanah runtuh, cerun, kelengkungan dan jarak dari infrastruktur. Perlapisan lapisan-lapisan tersebut menggunakan GIS akan dapat mengenalpasti di manakah kawasan-kawasan yang berisiko tinggi berlakunya tanah runtuh dan seterusnya langkah-langkah awal dan tindakan-tindakan tertentu dapat diambil.

Parut tanah runtuh (Rajah 1) adalah permukaan yang terdedah kepada cerun akibat daripada pergerakan jisim bumi dimana kejadian tanah runtuh bermula. Parut tanah runtuh kelihatan lebih ketara jika pergerakan jisim bumi membabitkan tanah berbanding batu atau lempung. Saiz kawasan tanah runtuh diukur secara isipadu yang melibatkan panjang, lebar dan dalam parut kawasan tanah runtuh. Manakala kelas kawasan tanah runtuh berdasarkan saiz adalah seperti ditunjukkan di Jadual 1.



Rajah 1 : Parut tanah runtuh

Jadual 1 : Kelas kawasan tanah runtuh berdasarkan saiz

Saiz (m^3)	Kelas
< 100	Kecil
100 – 1000	Sederhana
> 1000	Besar

Sumber : Wright (2005)

Objektif

- i. Melihat sejauh mana potensi parut tanah runtuh dalam praktikal bidang Kejuruteraan Awam
- ii. Mencadangkan bagaimana pengetahuan dan data-data parut tanah runtuh boleh dinilai dan ditentukan potensinya dalam praktikal bidang Kejuruteraan Awam

Data dan Keputusan

Data-data dan keputusan yang diperlukan adalah seperti :

- i. panjang parut tanah runtuh – jarak memanjang daripada bahagian paling atas parut cerun ke bahagian paling bawah parut cerun
- ii. lebar parut tanah runtuh – dimensi paling lebar merentasi parut cerun
- iii. dalam parut tanah runtuh – jarak paling dalam parut cerun daripada permukaan asal cerun
- iv. luas parut tanah runtuh – panjang parut tanah runtuh didarabkan dengan lebar parut tanah runtuh
- v. isipadu parut tanah runtuh – luas parut tanah runtuh didarabkan dengan dalam parut tanah runtuh

Ini dapat ditunjukkan sepertimana pada Rajah 2 dan Jadual 2. Rajah 2 menunjukkan dimensi parut tanah runtuh manakala Jadual 2 pula merupakan contoh data-data dan keputusan parut tanah runtuh.



Rajah 2 : Dimensi parut tanah runtuh

Jadual 2 : Panjang, lebar dan dalam parut tanah runtuh untuk 20 kejadian tanah runtuh pada 13hb Julai 2004 di kawasan Niigata

Bil.	Kejadian	Panjang (m)	Lebar (m)	Dalam (m)
1.	1	5.0	5.0	2.0
2.	2	4.0	4.0	0.5
3.	3	3.0	2.0	0.5
4.	4	4.0	3.0	0.5
5.	5	4.0	5.0	1.0
6.	6	5.0	5.0	0.5
7.	7	4.0	4.0	0.5
8.	8	4.0	10.0	1.0
9.	9	5.0	11.0	0.5
10.	10	5.0	18.0	0.5
11.	11	5.0	13.0	0.5
12.	12	20.0	20.0	1.5
13.	13	5.0	5.0	0.5
14.	14	8.0	10.0	0.5
15.	15	7.0	7.0	0.5
16.	16	8.0	12.0	2.0
17.	17	8.0	15.0	1.0
18.	18	6.0	10.0	1.0
19.	19	8.0	31.0	1.0
20.	20	5.0	4.0	0.5

Sumber : 'Heavy rainfall induced landslides on July 13, 2004 in Niigata Region'

Data-data dan keputusan tersebut kemudiannya dianalisa secara statistik untuk mendapatkan samada nilai purata, maksimum, minimum, persentil, median dan mod. Definisi bagi setiap istilah matematik tersebut adalah seperti berikut :

- i. Min – purata kumpulan skor yang didapati dengan membahagikan jumlah skor dengan jumlah pengamatan
- ii. Maksimum – nilai skor yang tertinggi
- iii. Minimum – nilai skor yang terendah
- iv. Persentil – nilai mengikut skala 100 yang menunjukkan samada taburan adalah di atas atau di bawah
- v. Median – nilai skor di mana 50% skor berada di atasnya dan 50% skor berada di bawahnya
- vi. Mod – nilai skor yang terkerap sekali

Jadual 3 : Contoh data-data dan keputusan parut tanah runtuh dianalisa secara statistik

Bil.	Parameter	Panjang (m)	Lebar (m)	Dalam (m)	Luas (m ²)	Isipadu (m ³)
1.	Min	6.2	9.7	0.8	60.1	48.1
2.	Maksimum	20.0	31.0	2.0	620.0	1240.0
3.	Minimum	3.0	2.0	0.5	6.0	3.0
4.	Persentil-25	4.0	4.0	0.5	16.0	8.0
6.	Persentil-75	7.0	12.0	1.0	84.0	84.0
7.	Median	5.0	8.5	0.5	42.6	21.3
8.	Mod	5.0	5.0	0.5	25.0	12.5

Potensi Parut Tanah Runtuh

Parut tanah runtuh dapat memberikan 3 potensi kepada praktikal dalam bidang kejuruteraan awam melalui pandangan penulis iaitu :

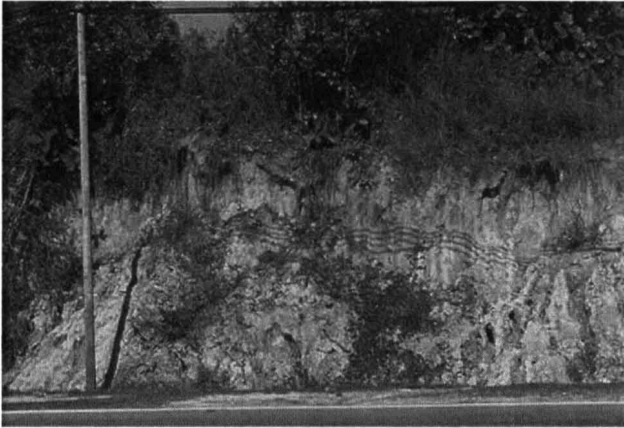
- i. Panduan tambahan lokasi pengambilan sampel tanah
- ii. Panduan tambahan lebar bahu jalan
- iii. Simulasi dan ramalan

Panduan tambahan lokasi pengambilan sampel tanah

Salah satu kaedah untuk mengenalpasti tahap risiko tanah runtuh sesuatu cerun adalah dengan menentukan profil tanah cerun tersebut terutamanya yang membabitkan faktor kebolehruntuhan tanah. Ini merupakan langkah awal yang perlu dilakukan sebelum langkah selanjutnya diambil seperti merekabentuk sistem perlindungan cerun atau pemetaan tahap risiko tanah runtuh cerun. Bagi menentukan profil tanah sesuatu cerun, pengambilan sampel tanah perlu dilakukan dimana pada cerun tersebut, sampel-sampel tanah diambil pada lokasi-lokasi tertentu. Penentuan lokasi-lokasi adalah berdasarkan kepada pengalaman, pengetahuan dan pertimbangan seseorang jurutera dan juga bergantung kepada peruntukan kewangan. Peruntukan kewangan mempengaruhi bilangan sampel yang perlu diambil dimana sekiranya peruntukan kewangan adalah tinggi maka lebih banyak sampel akan diambil, namun jika sebaliknya maka sampel yang diambil adalah lebih rendah.

Walaupun terdapat garis panduan seperti 'Guidelines for Planning Scope of Site Investigation Works for Road Projects' yang dikeluarkan oleh Persatuan Kejuruteraan Jalan Malaysia yang menggariskan lokasi dan dimensi antara lokasi-lokasi pengambilan sampel tanah, namun ianya terlalu umum dimana lokasi dan dimensi tersebut dinyatakan dalam bentuk julat terutamanya jarak secara melintang atau menegak. Sebagai contoh, untuk melihat kestabilan cerun di cerun potong, jarak lokasi pengambilan sampel tanah secara amalnya adalah di antara 60 m hingga ke 600 m. Oleh itu, jarak antara satu lokasi ke lokasi yang lain di dalam julat tersebut akan ditentukan melalui pengalaman, pengetahuan dan pertimbangan seseorang jurutera, selain daripada peruntukan kewangan serta beberapa syarat dalam garis panduan tersebut. Manakala jarak dalam pengambilan sampel juga dalam bentuk julat iaitu di antara 1m hingga 3m.

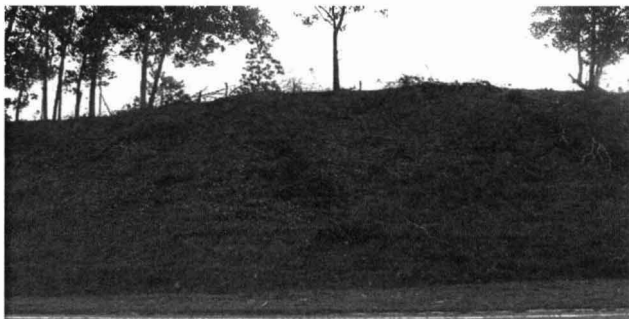
Data-data parut tanah runtuh boleh dijadikan sebagai panduan tambahan jarak lokasi pengambilan sampel dengan lokasi pengambilan sampel yang lain secara melintang dan menegak. Sebagai contoh, dengan mengambil nilai min parut tanah runtuh daripada Jadual 2 untuk panjang, lebar dan dalam iaitu panjang ialah 6.2 meter, lebar ialah 9.7 meter dan dalam ialah 0,8 meter, maka jarak secara melintang, menegak dan dalam untuk di antara lokasi pengambilan sampel dapat ditentukan. Ini diilustrasikan seperti pada Rajah 3.



Rajah 3: Dimensi pengambilan sampel berdasarkan data-data parut tanah runtuh

Kelebihan pengambilan sampel dengan menggunakan panduan melalui data-data parut tanah runtuh ialah ianya dapat memberikan liputan yang lebih luas dan tepat dalam mengenalpasti potensi risiko tanah runtuh sesuatu cerun dan ini dapat diilustrasikan seperti pada Rajah 4 dengan mengambil jarak minimum pengambilan sampel amalan biasa iaitu 60 meter. Sekiranya menggunakan pendekatan amalan biasa kemungkinan pengenalpastian kawasan cerun berisiko tinggi untuk berlakunya runtuh tanah runtuh terutamanya tanah runtuh kecil tidak dapat ditentukan memandangkan julat pengambilan sampel besar berbanding pengambilan sampel dengan menggunakan panduan melalui data-data parut tanah runtuh di mana memberikan jarak yang spesifik. Ini ketara pada jarak melintang dan menegak kecuali jarak dalam.

Selain itu, anggaran perbelanjaan bagi tujuan pengambilan sampel bagi sesuatu kawasan dapat ditentukan. Sebagai contoh, jika sesuatu cerun yang diketahui panjang dan lebarnya, maka berapa sampel yang perlu diambil dapat diketahui dengan membahagikan panjang dan lebar cerun tersebut dengan jarak pengambilan sampel dengan menggunakan panduan melalui data-data parut tanah runtuh. Seterusnya anggaran perbelanjaan dapat ditentukan.

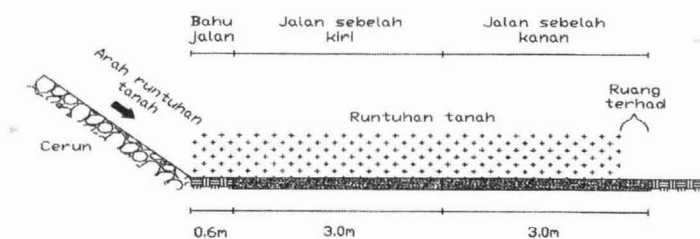


Rajah 4: Jarak pengambilan sampel berdasarkan data-data parut tanah runtuh dengan jarak pengambilan sampel amalan biasa untuk tujuan pengenalpastian risiko tanah runtuh

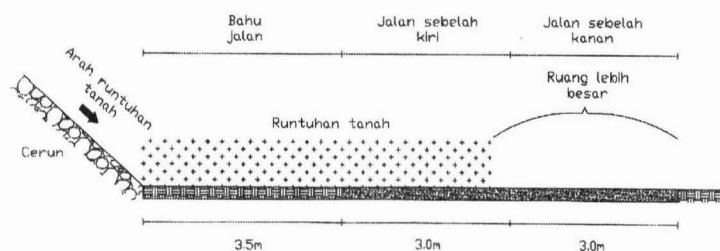
Panduan tambahan lebar bahu jalan

Panjang dan dalam berdasarkan parut tanah runtuh dapat memberi panduan dalam membina lebar bahu jalan yang sesuai terutamanya di lereng-lereng bukit bertujuan supaya apabila berlakunya tanah runtuh, kesan-kesan akibat daripada tanah runtuh adalah minima kepada pengguna jalan raya dan penyelenggaraan jalan mudah dilakukan. Ini dapat diillustrasikan pada Rajah 5 dan Rajah 6 dengan mengambil nilai data min parut tanah runtuh iaitu panjang adalah 6.2 meter dan dalam adalah 0.8 meter daripada Jadual 2 sebagai contoh dan menganggap jatuhnya tanah runtuh adalah sepenuhnya. Rajah 5 menunjukkan kesan sekiranya tanah runtuh berlaku dimana lebar bahu jalan adalah mengikut sepertimana cadangan di dalam Arahan Teknik (Jalan) 8/86 : 'A guide on Geometric Design of Roads' dimana 0.6 meter adalah lebar minimum bahu jalan yang dicadangkan sekiranya jalan pada kawasan berbukit dan isipadu penggunaan jalan adalah rendah. Rajah 6 pula menunjukkan lebar baru jalan cadangan iaitu selebar 3.5 m berdasarkan kepada nilai min parut tanah runtuh.

Lebar bahu jalan berdasarkan kepada nilai min parut tanah runtuh memberikan ruang yang lebih besar (sesuai) dimana sekiranya berlakunya tanah runtuh, pengguna jalan raya pada ketika itu mempunyai ruang untuk mengelakkan runtuhnya tanah dari menimpa kenderaan mereka dan perjalanan tidak tersekat memandangkan masih lagi ada ruang untuk kenderaan bergerak. Selain itu, ruang yang lebih besar (sesuai) memudahkan kenderaan berat memasuki kawasan runtuhnya tanah untuk melakukan kerja-kerja pembersihan runtuhnya tanah. Ini adalah bersesuaian diaplikasikan bagi tujuan pembinaan jalan raya baru di lereng-lereng bukit.



Rajah 5: Kesan runtuh tanah terhadap jalan raya sekiranya lebar bahu jalan raya berdasarkan garis panduan sedia ada



Rajah 6 : Kesan runtuh tanah terhadap jalan raya sekiranya lebar bahu jalan raya berdasarkan kepada data-data parut tanah runtuh

Simulasi dan Ramalan

Pengetahuan dan data-data parut tanah runtuh dapat membantu dalam membuat ramalan terhadap kesan-kesan tanah runtuh. Sebagai contoh, pengetahuan mengenai hubungkait di antara ciri-ciri cerun yang runtuh dan magnitud faktor pencetus seperti hujan dengan parut tanah runtuh dapat dijadikan simulasi di dalam menganggarkan jarak infrastruktur yang patut dibina daripada sesuatu cerun samada di atas cerun atau di bawah cerun. Selain itu, ramalan kesan-kesan tanah runtuh akibat faktor hujan dapat dibuat dan ini dapat membantu memberi amaran awal kepada orang ramai kesan-kesan tanah runtuh yang akan berlaku pada waktu hujan ketika itu. Ini dapat diilustrasikan pada Rajah 7 dan Rajah 8. Simulasi dengan menggunakan pengetahuan dan data-data parut tanah runtuh menunjukkan bahawa sesuatu cerun dapat dikenalpasti sejauh mana magnitud runtuh tanah apabila cerun tersebut mengalami

keruntuhan tanah dengan melihat ciri-ciri cerun tersebut dan magnitud faktor pencetus. Ini adalah bersesuaian untuk diaplikasikan bagi infrastruktur yang akan atau telah dibina berdekatan dengan cerun manakala manakala untuk tujuan amaran awal adalah bagi jalan raya yang telah dibina di lereng-lereng bukit.



Rajah 7: Jarak bersesuaian untuk infrastruktur yang dibina



Rajah 8: Sistem amaran awal untuk pengguna jalan raya di lereng-lereng bukit

Kesimpulan

Potensi parut tanah runtuh dalam bidang kejuruteraan awam hanyalah lemparan idea dan pandangan penulis berdasarkan kepada pengetahuan dan pengalaman penulis. Potensi dalam menggunakan pengetahuan dan

data-data parut tanah runtuh ini hanya dapat diketahui dengan menjalankan kajian yang lebih mendalam dan terperinci. Oleh itu, jika data-data tanah runtuh dikatakan berpotensi, maka apa yang perlu dilakukan terlebih dahulu adalah dengan mewujudkan inventori kejadian tanah runtuh yang merangkumi ciri-ciri cerun, ciri-ciri faktor pencetus dan ciri-ciri parut tanah runtuh. Kemudian, analisa data-data dilakukan samada secara statistik atau menggunakan analisis matematik yang lebih kompleks bagi mendapatkan nilai yang lebih tepat dan bersesuaian terhadap ciri-ciri parut tanah runtuh itu, disamping melihat hubungkait di antara ciri-ciri parut tanah runtuh dengan ciri-ciri cerun dan ciri-ciri faktor pencetus. Seterusnya nilai-nilai yang diperolehi melalui analisa data-data dan penemuan diaplikasikan dalam beberapa kajian kes untuk cerun-cerun berisiko tinggi dan kejadian tanah runtuh untuk menilai keberkesannya. Beberapa faktor lain terutamanya faktor kos perlu juga turut dipertimbangkan. Melalui langkah-langkah yang dicadangkan, maka potensi parut tanah dapat ditentukan.

Potensi parut tanah runtuh masih lagi sesuatu yang subjektif dan lebih kepada tanah runtuh yang membabitkan jisim tanah, namun begitu, apa yang diharapkan lemparan idea dan pandangan ini dapat membantu sedikit sebanyak di dalam memberi panduan atau maklumat tambahan terutamanya di dalam mengenalpasti risiko tanah runtuh dan ramalan kesan-kesan akibat runtuhan tanah di mana bukan sahaja untuk meramalkan sesuatu cerun itu mudah runtuh atau tidak tetapi juga jika runtuh dapat diramalkan sejauh mana runtuhan tanah itu. Selain itu, diharapkan juga lemparan idea dan pandangan ini dapat mencetuskan idea untuk kajian-kajian pada masa depan di dalam menggunakan pengetahuan dan data-data parut tanah runtuh ini serta panduan tambahan di dalam garis panduan sedia ada. Sebagai contoh, jika garis panduan sedia ada menggariskan bahawa fungsi bahu jalan adalah sebagai ruang untuk pemberhentian kecemasan, ruangan khas untuk membolehkan pemandu mengawal kembali kenderaan yang gagal dikawal, menghasilkan perasaan lapang yang dapat membantu keselesaan memandu, meningkatkan jarak penglihatan khususnya di selekoh, meningkatkan muatan jalan, ruangan untuk operasi penyenggaraan dan meningkatkan sokongan sisi struktur turapan, fungsi bahu juga boleh ditambah sebagai ruang untuk meminimalkan kesan runtuhan tanah kepada pengguna jalan raya.

Ramalan dan pengenalpastian risiko tanah runtuh serta kesan-kesan buruk akibat kejadian tanah runtuh adalah perlu kerana dapat membantu dalam merangka dan mengambil tindakan awal untuk mengelakkan atau meminimalkan kesan-kesan buruk akibat runtuhan tanah dan seterusnya menyelamatkan nyawa dan harta benda. Semoga ramalan dan pengenalpastian risiko tanah runtuh dapat dipertingkatkan dari masa ke

semasa supaya kejadian tanah runtuh di Hillview Park, Ampang, Selangor pada 20 November 2002 yang mengorbankan beberapa nyawa dan kerosakan harta benda dan kejadian tanah runtuh pada 25hb Jun 2005 di Jalan Tamparuli – Ranau, Ranau, Sabah yang menyebabkan berpuluh-puluh kenderaan tersekat selama lebih kurang 15 jam tidak berulang.

Rujukan

- Aik, N. C. (2005). *SI and geotechnical engineering design*. Kuala Lumpur. Jurutera.
- Crozier, M. J. (1986). *Landslides: causes, consequences and environment*. London: Croom Helm.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). *Landslide types and processes*. Washington D. C.: Transport Research Board National Research Council.
- Ercanoglu, M. C., & Gokceoglu, C. (2003). *Landslide susceptibility zoning of North Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques*. Ankara.
- Geological Survey of Ireland, Irish Landslide Working Group. (2006). *Landslides in Ireland*. Dublin: Department of Communications, Marine and Natural Resources.
- Hancox, G. T., & Wright, K. (2005). *Analysis of landsliding caused by the February 2004 rainstorms in the Wanganui – Manawatu Hill Country, Southern North Island, New Zealand*. Lower Hutt Institute of Geological and Nuclear Sciences Report 2005/11.
- Jabatan Kerja Raya. (1986). *Arahan teknik (Jalan) 8/86 - A guide on geometric design of roads*. Kuala Lumpur.
- Jasmi Abdul Talib. (2005). *An integrated approach of remote sensing and GIS techniques for landslide hazard zoe Mapping: Malaysia case studies*. Porto. 25th EARSeL Sympoium.
- Lee, S., & Pradhan, B. (2006). *Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia*. New Delhi: Journal Earth System Science.

- Meor Othman Hamzah, Asri Hasan & Mohamed Rehan Karim (1993). *Rekabentuk jalan raya untuk jurutera*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Road Engineering Association of Malaysia. (2004). *Guidelines for planning scope of site investigation works for road projects*. Kuala Lumpur.
- Sew, G. S. & Chin, T. Y. (2000). *Hill-site development – Planning, design, construction and maintenance considerations*. Penang: IEM Seminar on Geotechnical Engineering.
- Sheila Namuwaya, D. C. (2006). *Predictive modelling of rainfall induced landslide in a tropical environment*. Enschede: International Institute for Geo-information Science and Earth Observation.
- Varnes, D. J. (1978). *Slope movement types and processes*. Washington D. C.. Transport Research Board National Academy of Sciences.
- Wieczorek, G. F. (1996). *Landslide triggering mechanisms*. Washington D. C.. Transport Research Board National Academy of Sciences.
- Yamagishi, H., Watanabe, N., & Lulseged, A. (2004). *Heavy rainfall induced landslide on July 13, 2004 in Niigata Region, Japan*. Niigata: Landslide Research Group of Landslide Society of Japan.
- Yee, K. (2004). *The engineering aspects of hill-site development*. Kuala Lumpur: Jurutera.
-

MOHD FAIRUZ BACHOK, Fakulti Kejuruteraan Awam, Universiti Teknologi MARA Pahang. mfairuz@pahang.uitm.edu.my