

Penilaian geomorfologi tanah runtuh lama di tanah tinggi tropika – Kajian kes Cameron Highlands dan Kundasang, Malaysia

(Geomorphological assessment of past landslides in tropical highlands
– Case studies from Cameron Highlands and Kundasang, Malaysia)

TAJUL ANUAR JAMALUDDIN*, NORASIAH SULAIMAN, NOR SHAHIDAH MOHD NAZER

Program Geologi, Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar,
Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM-Bangi, Selangor, Malaysia
* Corresponding author email address: taj_anuar@yahoo.com

Abstrak: Tanah runtuh lama adalah tanah runtuh yang berlaku, mungkin puluhan atau ratusan tahun yang lalu dan boleh diaktifkan semula oleh penyebabnya yang asal atau penyebab lain. Kewujudannya geobahaya ini sering terlepas pandang disebalik kerencaman topografi dan litupan tumbuhan yang tebal di kawasan tanah tinggi tropika. Kemahiran asas geomorfologi dan pengalaman diperlukan untuk mengecam dan memetakan tanah runtuh jenis ini kerana fitur-fitur geomorfologi yang berasosiasi dengannya telah diubahsuai akibat proses luluh hawa, hakisan dan pemendapan yang pesat di rantau tropika. Pembangunan infrastruktur di kawasan berbukit dan tanah tinggi di Malaysia akhir-akhir ini secara tidak langsung mendedahkan pelbagai masalah geoteknik dan risiko geobencana susulan pengaktifan semula tanah runtuh lama. Tanah runtuh lazimnya menghasilkan tanda-tanda yang boleh dilihat dan boleh dikenalpasti melalui cerapan morfologi dan corak topografi cerun bukit secara teliti. Penggunaan kaedah penderiaan jauh dan fotogrametri dron sangat membantu dalam proses pencerapan morfologi tanah runtuh lama. Sesebuah tanah runtuh, sama ada yang baru atau lama mempunyai himpunan fitur-fitur geomorfik tersendiri, bergantung kepada jenis, saiz dan usia kegagalan dan skala cerapan. Fitur-fitur seperti kerawang di bahagian kepala, tubir utama, tubir sisi, cerun cekung dibahagian tengah, dan disusuli dengan topografi cembung dan beralun di bahagian kaki cerun adalah petunjuk utama untuk mengenalpasti kewujudan geobahaya tanah runtuh. Tanda-tanda lain seperti kehadiran longgokan kolovium di kaki cerun atau di lantai lembah, anak-anak sungai bercabang bentuk-Y di bahagian hulu cerun, kewujudan teres-teres bertingkat, perbezaan kepadatan tumbuh-tumbuhan dengan cerun sekitarnya, juga boleh dijadikan petunjuk untuk mengenalpasti tanah runtuh lama dan menganggarkan usia relatifnya sama ada muda, dewasa atau tua. Penilaian geomorfologi daripada kawasan Cameron Highlands dan Kundasang dibentangkan untuk dijadikan panduan bagi mengesan dan mengenalpasti kehadiran geobahaya tanah runtuh lama serta dipetakan di dalam peta inventori tanah runtuh sebagai sebahagian maklumat asas geobahaya.

Katakunci: Fitur geomorfologi, geobahaya, tanah runtuh lama

Abstract: Past landslides are old landslides, probably decades or hundreds of years ago that could be reactivated by their original causes or other causes. Their occurrences are often overshadowed by topographic complexity and dense vegetation cover in the hilly tropical terrain. Basic skills in geomorphology and experience is needed to recognize and identify this type of landslide because the associated geomorphic features tend to be mollified by intense tropical weathering, erosion and rapid sedimentation of the tropical region. Infrastructural developments encroached into the hilly terrains of Malaysia recently has indirectly expose various geotechnical problems and geodisaster risks due to reactivation of the past landslides. Landslides often produced visible signs and can be identified through detailed observation on the morphology and hill slope topography. The aid from new and advanced remote sensing technology and drone photogrammetry making geomorphological observation of past landslide in remote natural terrains easier and more convincing. A landslide, whether new or past, is often characterized by an assemblage of distinct geomorphic features depending on its type, size, age and scale of observation. Features like arcuate crown and main head scarp, side scarps, concave upper slope, convex lower slope and followed by undulating hummocky topography near toe are amongst the main signature to identify the existence of landslides geohazard. Other signs inclusive of colluvial deposit at the foot of the slope or in the downstream floor valey, Y-shaped bifurcating streamlets in the upstream, the existence of stepped terraces, different vegetation cover to the slope counterparts, can also be used to identify and to estimate the relative age of past landslides, either young, mature or old. Geomorphological assessment from Cameron Highlands and Kundasang areas are presented herein as a guide to recognize and identify the existence of past geohazard and mapped into landslide inventory as part of fundamental information for geohazard.

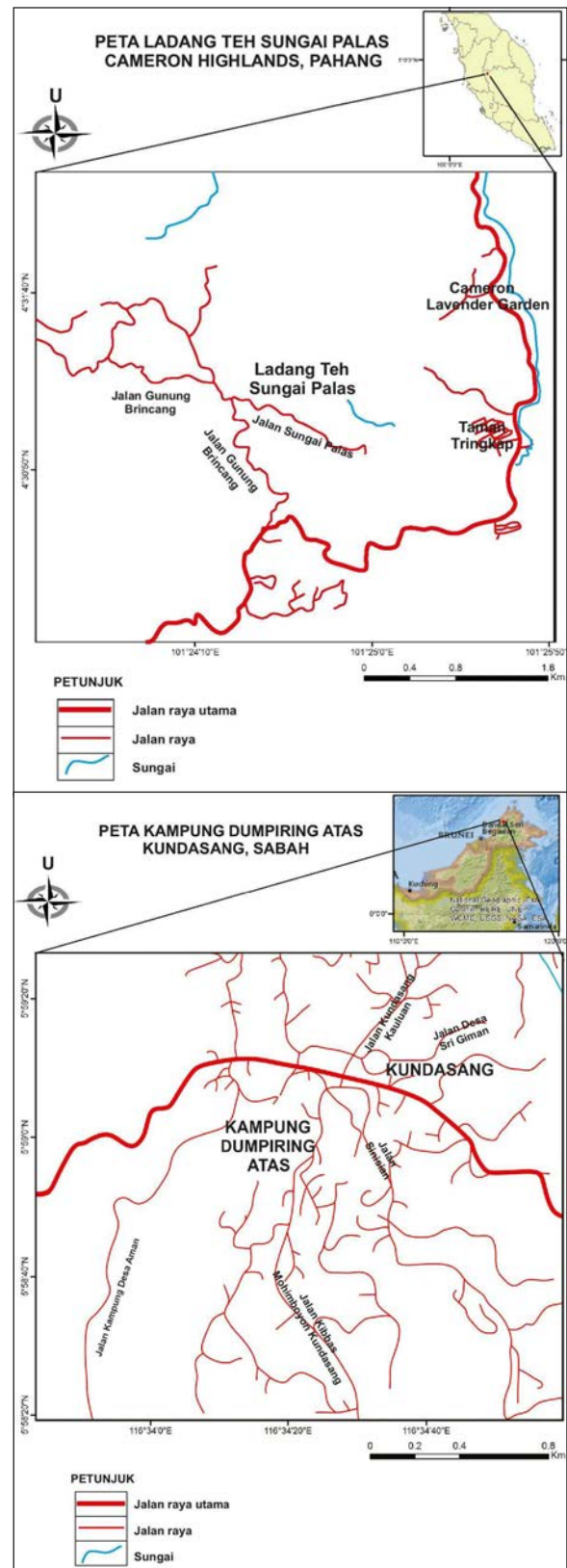
Keywords: Geomorphic features, geohazards, past landslides

PENGENALAN

Tanah runtuh memang telah sedia diiktiraf sebagai sejenis geobahaya yang boleh mendatangkan bencana kepada manusia, harta-benda dan aktiviti. Kerosakan yang disebabkan oleh tanah runtuh amat bergantung kepada kelajuannya, kedudukan manusia dan harta benda dengan tanah runtuh itu sendiri. Tanah runtuh yang masih baru dan aktif mudah untuk dikenalpasti dan biasanya akan jelas kelihatan daripada perubahan morfologi sesebuah cerun (Parise, 2010). Fitur-fitur geomorfologi yang berasosiasi dengannya masih jelas kelihatan dan boleh dicerap secara langsung tambahan pula jika tanah runtuh tersebut melibatkan kerosakan dan kemusnahan harta benda. Tanah runtuh sebegini lazimnya mudah dikenalpasti dan akan terekod sebagai sejarah setempat.

Walaupun bagaimanapun, bagi sesebuah tanah runtuh yang telah lama berlaku, mungkin puluhan atau ratusan tahun yang lalu, kewujudannya semakin kabur dan sukar untuk dikenalpasti. Ini diburukkan jika tanah runtuh tersebut berlaku di dalam hutan atau kawasan yang jauh dari ketamadunan manusia. Kebarangkalian kawasan tersebut diterokai untuk projek-projek pembangunan adalah besar sekiranya penyiapan tapak yang terperinci tidak dijalankan. Penentuan usia pasti sesebuah tanah runtuh bukanlah suatu kerja yang mudah. Setakat ini, terdapat beberapa kaedah popular yang sering digunakan untuk menentukan usia sesebuah tanah runtuh di samping menganggar kelangsungan dan impak tanah runtuh, umpamanya pentarikhian radiologi, *lichenometry* (penentuan usia sejenis lumut), *dendrochronology* (penentuan usia pokok), *optically-simulated-luminescence* dan penggunaan pengimbas laser model digital terrain (ALS DTMs) (Lang *et al.*, 1999; Bertolini & Tellini, 2001; Bell *et al.*, 2012). Kelangsungan sesebuah tanah runtuh pada sesebuah terrain boleh dikesan berjulat daripada beberapa tahun hingga puluhan malah ratusan tahun (Bell *et al.*, 2012). Aktiviti manusia seperti penggondolan bukit dan penambakan lurah untuk pembangunan/pertanian adalah faktor utama yang menyebabkan sesebuah tanah runtuh semakin sukar dikesan atau lenyap terus dari pandangan.

Objektif utama kertas ini adalah mengupas beberapa konsep asas geologi dan geomorfologi mengenai tanah runtuh lama, khususnya tanah runtuh lama di terrain perbukitan dan/atau tanah tinggi tropika di Malaysia. Ciri-ciri pengenalan sesebuah tanah runtuh lama diuraikan berdasarkan cerapan langsung di lapangan dan imej penderiaan jauh. Kajian kes daripada 2 lokasi terpilih; Cameron Highlands dan Kundasang (Rajah 1), dikupas bagi membuktikan bahawa tanah runtuh lama merupakan sejenis geobahaya yang perlu diberi perhatian di dalam pemetaan geobahaya tanah runtuh sebagai langkah persediaan mengatasi dan mengurangi risiko geobencana berkaitan tanah runtuh lama di masa akan datang.



Rajah 1: (a) Ladang Teh Sg Palas, Cameron Highlands, Pahang (b) Kampung Dumpiring Atas, Kundasang, Sabah.

GEOLOGI AM CAMERON HIGHLANDS DAN KUNDASANG

Cameron Highlands merupakan sebahagian daripada Banjaran Utama yang terletak di Pahang, dengan morfologi lembah dan perbukitan yang dominan dengan ketinggian sehingga 1600 m dari aras laut. Kawasan ini merupakan kawasan pertanian utama dimana sebahagian besar litupan tanah di sini dilitupi oleh campuran tanah aluvium dan koluvium yang subur untuk pertanian. Geologi am kawasan Cameron Highlands terdiri daripada granit pluton berusia Ordovisi hingga Silur. Terdapat juga batuan metamorf yang terdiri daripada syis dan filit berusia akhir Paleozoik. Kundasang pula terletak di Sabah dan di dasari oleh dua jenis batuan utama jenis sedimen dan meta-sedimen dari Formasi Crocker dan Trusmadi, masing-masing berusia Akhir Eosen hingga Awal Miosen dan Paleosen hingga Eosen. Selain itu, terdapat juga granit intrusi beserta mendapan aluvium Kuarterner aktif yang dijumpai di kawasan Kundasang. Sebagaimana Cameron Highlands, kawasan ini juga berketegingian sekitar 1500 m dari aras laut dengan morfologi lembah dan perbukitan yang curam di kebanyakan tempat. Faktor pengendapan sedimen kuarterner tinggi lempung serta aktiviti tektonik yang aktif mendorong kepada pergerakan secara rayapan terhadap cerun-cerun perbukitan yang ada sekaligus mengakibatkan kejadian tanah runtuh semula jadi yang tinggi di sini.

GEOBAHAYA DAN GEOBENCANA TANAH RUNTUH

Tanah runtuh ialah pergerakan jasad batuan, tanah atau debris ke bawah cerun, dibawah pengaruh graviti (Cruden & Varnes, 1996; Cruden, 1991; Hutchinson, 1988; Nemčok *et al.*, 1972; Varnes, 1978; WP/WLI, 1990). Berbagai faktor menyebabkan berlakunya tanah runtuh dan di rantau iklim tropika lembab seperti di Malaysia, antara faktor penyebabnya ialah hujan lebat yang berpanjangan, gempa bumi, luluh hawa, ketakselajaran, geologi bahan pembentuk cerun dan berbagai aktiviti manusia (Crozier, 1986; Ibrahim Komoo *et al.*, 1986; Tajul Anuar Jamaluddin, 2006a).

Tanah runtuh adalah suatu fenomena penting yang mengukir dan mengubah rupa bentuk permukaan bumi (Crozier, 1999; Glade & Crozier, 2010; Zorn & Komac, 2011). Tanah runtuh berlaku apabila tekanan ricih yang bertindak pada cerun melebihi kekuatan ricih cerun, menyebabkan cerun tersebut gagal dan bergerak (Nazer & Tarantino, 2016). Cerun-cerun yang tidak stabil dan berpotensi untuk gagal boleh mendatangkan bahaya kepada manusia, harta benda dan aktiviti manusia. Oleh itu, tanah runtuh dikategorikan sebagai sejenis geobahaya (Doornkamp, 1989; McCall., 1992). UNISDR (2006) pula mentakrifkan geobahaya sebagai proses geologi atau fenomena yang menyebabkan kehilangan nyawa, kecederaan atau impak kesihatan, kerosakan harta benda, kehilangan kehidupan dan perkhidmatan, gangguan kepada sosial dan ekonomi atau kerosakan alam sekitar.

Berdasarkan takrifan ini geobahaya merujuk kepada bahaya dan potensi bencana yang terdapat di sesebuah kawasan masih belum berlaku tetapi boleh berlaku pada masa akan datang dan boleh mendatangkan musibah kepada manusia. Apabila unsur geobahaya itu telah berlaku dan menyebabkan kerosakan harta benda dan/ atau kehilangan nyawa, gangguan dan kerosakan alam sekitar dan sebagainya, maka barulah dikatakan sebagai geobencana (Hamzah Hussin *et al.*, 2013).

JENIS DAN AKTIVITI TANAH RUNTUH

Secara kinematik, Dikau *et al.* (1996) dan Varnes (1978) mengkelaskan tanah runtuh kepada 5 jenis utama, iaitu: a) Jatuhan, b) Terbalikan, c) Gelinciran, d) Aliran, dan e) Rebakan. Kebanyakan tanah runtuh mempamerkan gabungan antara dua atau lebih jenis kegagalan yang tersebut di atas (Crozier, 1986; Cruden & Varnes, 1996; Dikau *et al.*, 1996; Hutchinson, 1988; Varnes, 1978). Untuk menamakan kegagalan kompleks ini, jenis kegagalan yang pertama digabungkan dengan jenis kegagalan susulan sebagai contoh jatuhan batuan dan aliran debris (WP/WLI, 1990). Di rantau iklim tropika lembab seperti di Malaysia, jenis tanah runtuh yang sering berlaku pada cerun semulajadi adalah jenis gelinciran atau gelongsoran. Disebabkan oleh kandungan air yang tinggi dan seringkali berasosiasi dengan hujan yang lebat, maka kegagalan gelinciran atau gelongsoran seringkali disusuli dengan aliran.

Menurut *The International Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory* (WP/WLI, 1993), sesebuah tanah runtuh dikategorikan sebagai “aktif” sekiranya masih bergerak. Manakala tanah runtuh “tergantung” adalah tanah runtuh yang pernah bergerak sejak 12 bulan yang lalu tetapi kini tidak lagi aktif. Tanah runtuh yang “diaktifkan semula” ialah tanah runtuh aktif yang telah sekian lama tidak aktif. Tanah runtuh “tak-aktif” adalah tanah runtuh yang telah tidak bergerak sejak 12 bulan yang lalu. Tanah runtuh “tak-aktif” boleh dibahagikan kepada 4 keadaan, iaitu: 1) Lama, 2) Ditinggalkan, 3) Distabilkan dan 4) Relikta.

Tanah runtuh “lama” adalah tanah runtuh tak aktif yang boleh diaktifkan semula oleh penyebabnya yang asal atau penyebab lain. Sebagai contoh, jasad yang runtuh telah mula ditutupi tumbuh-tumbuhan dan tubir utamanya telah diubah-suai oleh luluh hawa. Tanah runtuh yang “ditinggalkan” adalah tanah runtuh tak-aktif yang tidak lagi dipengaruhi oleh penyebab asal runtuhananya. Bahagian kaki tanah runtuh telah ditutupi oleh mendapan aluvium dan tubir utamanya telah ditutupi tumbuh-tumbuhan. Tanah runtuh yang “distabilkan” adalah tanah runtuh tak-aktif yang telah dilindungi daripada penyebab asal kegagalan oleh langkah-langkah pembaikpulihan. Sebagai contoh, cerun telah distabilkan dengan dinding penahan. Tanah runtuh “relikta” pula adalah tanah runtuh tidak aktif yang terbentuk di bawah keadaan iklim dan geomorfologi yang berbeza daripada keadaan semasa.

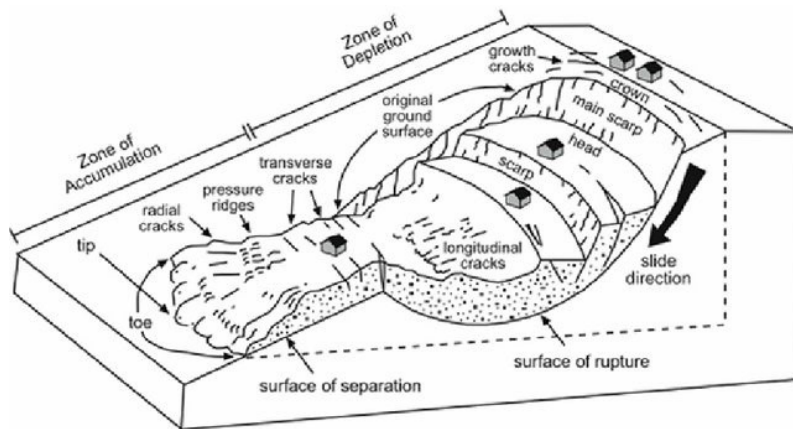
Jika menurut takrifan oleh *UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (WP/WLI, 1993)* ini, maka skop perbincangan mengenai tanah runtuh lama dalam kertas ini akan tertumpu kepada kategori tanah runtuh tidak aktif, sama ada tergolong dalam kategori lama, ditinggalkan atau relikt.

GEOMORFOLOGI DAN EVOLUSI TANAH RUNTUH

Tanah runtuh lazimnya menghasilkan tanda-tanda yang boleh dilihat, kebanyakannya boleh dikenali, dikelaskan dan dipetakan di lapangan atau daripada fotograf udara (Hansen, 1984; Hutchinson, 1988; Rib & Liang, 1978; Turner & Schuster, 1996; Varnes, 1978). Kebanyakan tanda-tanda yang ditinggalkan oleh tanah runtuh adalah tanda-tanda morfologi iaitu yang merujuk kepada perubahan pada bentuk, kedudukan atau penampilan permukaan topografi. Pada jasad tanah runtuh itu sendiri terdapat himpunan fitur-fitur geomorfik tersendiri. Kita tidak selalu bernasib baik untuk menemui kesemua fitur yang berasosiasi dengan sesebuah tanah runtuh ini di lapangan kerana ia sangat bergantung kepada jenis, saiz, usia dan skala cerapan. Bagaimanapun, gabungan beberapa fitur utama adalah memadai untuk kita mengecam kemunculan sesebuah tanah runtuh di dalam terain semulajadi untuk mendorong kita mencari lagi beberapa fitur cirian tambahan untuk mengesahkan kewujudannya. Antara fitur-fitur utama sesebuah tanah runtuh adalah kerawang (*crown*), tubir utama (*main scarp*), rekahan kerawang (*crown cracks*), zon penurunan (*zone of depletion*) dan zon penumpukan (*zone of accumulation*).

Fitur-fitur yang berasosiasi dengan sesebuah tanah runtuh, terutama di rantau iklim tropika lembab biasanya tidak kekal lama dan dengan mudah akan beransur lenyap dimamah hakisan dan luluh hawa serta diikuti pula oleh tutupan tumbuh-tumbuhan sekunder (Rajah 2). Bagaimanapun, bergantung kepada faktor-faktor seperti jenis tanah runtuh, kadar pergerakan, dan reologi bahan yang terlibat, kadangkala fitur-fitur ini masih kekal bertahan, dan pencerapan keatasnya secara berkala amat membantu dalam memahami kinematik tanah runtuh dan menilai bahaya yang berkaitan dengannya (Ter-Stepanian, 1967; Varnes, 1984; Zaruba & Mencl, 1982), serta mengenali fasa-fasa yang berbeza dalam sejarah pergerakannya.

Semakin lanjut usia sesebuah tanah runtuh semakin sukar kewujudannya untuk dikenalpasti di lapangan mahupun di dalam peta topografi dan/atau imej satelit atau fotograf udara. Lebih-lebih lagi di dalam rantau iklim tropika lembab seperti di Malaysia. Ini kerana bentuk dan geometri tanah runtuh lama semakin pudar dan dikaburi oleh tindakan luluh hawa, hakisan, pegenapan dan tutupan tumbuh-tumbuhan yang begitu cepat membiak dan merebak menutupi keseluruhan fitur yang bersekutuan dengan sesebuah tanah runtuh. Rajah 3 menunjukkan suatu contoh tanah runtuh/kegagalan cerun yang berlaku di Jalanraya Simpang Pulau – Cameron Highlands dan berjaya dirakamkan pada tahun 2001, 2007 dan 2018. Hanya dalam masa 17 tahun, kewujudan tanah runtuh berkenaan hampir seakan-akan tidak kelihatan lagi akibat luluh hawa, hakisan dan tutupan tumbuh-tumbuhan yang semakin menebal. Adakalanya



Rajah 2: Gambarajah unggun anatomi sebuah gelinciran tanah yang menunjukkan fitur-fitur geomorfik lazim yang berasosiasi dengannya (dilukis semula daripada Cruden & Varnes, 1996; Nicoll, 2010).



Rajah 3: Perbezaan rupa tanah runtuh yang berlaku pada cerun di Jalanraya Pos Selim-Cameron Highlands sejak dari tahun 2001, 2007 hingga 2018.

runtuhan yang tua ditindan pula oleh siri runtuhan tanah yang baru, menyebabkan morfologi asal tanah runtuhan yang terdahulu semakin kabur dan semakin sukar untuk dikesan.

Untuk membantu mengenali sesebuah tanah runtuhan lama (Aleotti & Chowdhury, 1999; Carrara *et al.*, 1991; Guzzetti *et al.*, 1999; Hutchinson, 1995; Varnes *et al.*, 1984), kita boleh menggunakan prinsip geologi asas yang terkenal iaitu konsep unikeseragaman atau “uniformitarianism” (Lyell, 1833) – “perkara yang telah berlaku dahulu dan sekarang adalah kunci kepada perkara yang akan datang”. Prinsip ini membayangkan bahawa kegagalan cerun pada masa akan datang akan berlaku di bawah keadaan yang sama sebagaimana keadaan yang menyebabkan kegagalan pada masa dahulu dan sekarang. Oleh itu pemetaan tanah runtuhan yang ada sekarang adalah penting untuk memahami taburan geografi dan susunatur tanah runtuhan yang terdahulu. Lebih menarik dan bermanfaat lagi jika kita mampu mengenalpasti dan memetakan tanah runtuhan lama melalui tanda-tanda geomorfologi kerana banyak kajian menunjukkan parut tanah runtuhan jenis ini cenderung untuk diaktifkan semula (e.g. Bouali *et al.*, 2019; Samia *et al.*, 2017; Tajul Anuar Jamaluddin, 2019). Peta-peta inventori tanah runtuhan yang wujud sekarang dan yang telah berlaku suatu masa dahulu, termasuklah tanah runtuhan lama; adalah sangat penting untuk membantu kita memahami dan meramalkan tanah runtuhan yang bakal berlaku di masa akan datang.

Beberapa prinsip asas geomorfologi amat penting untuk difahami dan sangat relevan dalam pengkajian tanah runtuhan (Soldati *et al.*, 2006). Bentuk dan landskap muka bumi, bukit-bukau, gunung-ganang, sungai, lembah, lurah, pantai dan termasuklah tanah runtuhan; dikawal oleh struktur geologi. Pengaruh struktur geologi (e.g. perlapisan, lipatan, sesar, kekar, zon ricih) lazimnya jelas tergambar pada bentuk muka bumi yang terbentuk. Faktor dan pengaruh struktur terhadap pembentukan dan penyebab tanah runtuhan telah banyak dibincangkan oleh pengkaji terdahulu (Abdul Ghani Rafek *et al.*, 1989; Agliardi *et al.*, 2001; Ibrahim Komoo & Abdul Ghani Rafek, 1988; Tajul Anuar Jamaluddin, 1999; Tan, 1996). Oleh itu, pemetaan dan pemahaman corak dan gaya struktur rantau atau setempat amat membantu dalam proses pengecaman dan pemetaan tanah runtuhan lama.

Proses-proses geomorfologi yang bertindak di permukaan bumi menghasilkan tertib jujukan bentuk muka bumi atau kitaran geomorfik mengikut peringkat usia relatifnya, sama ada peringkat muda, dewasa, tua atau peremajaan-semula. Sebagaimana sungai, tanah runtuhan juga mengalami evolusi, sesuai dengan peningkatan usianya (Crozier, 2010). Penggunaan konsep peringkat usia atau kitaran geomorfik didapati sesuai untuk menjelaskan tahap evolusi sesebuah tanah runtuhan. Takrifan usia relatif sesebuah tanah runtuhan sama ada muda, dewasa dan tua (McCalpin, 1984) dibuat berdasarkan penampilannya pada masa kini. Dalam kes tanah runtuhan di rantau iklim tropika lembab seperti di Malaysia, penampilan kesan hakisan, luluh hawa, tutupan dan kepadatan tumbuh-tumbuhan didapati sangat

membantu dalam menganggarkan usia relatif sesebuah tanah runtuhan lama. Rajah 4 menggambarkan model tipikal kitaran geomorfik dan peringkat usia sebuah tanah runtuhan jenis gelinciran putaran (*rotational slide*) yang biasa berlaku pada cerun semula jadi di kawasan tanah tinggi tropika.

PENGECAMAN DAN PEMETAAN TANAH RUNTUH

Fitur-fitur geomorfologi, seperti rekahan, graben, kolam, alihan tumbuh-tumbuhan dan perubahan-perubahan morfologi lain, boleh dijadikan maklumat untuk menganggar aktiviti tanah runtuhan. Peta inventori tanah runtuhan berdasarkan geomorfologi yang disediakan untuk tempoh masa yang berbeza dengan peta kejadian tanah runtuhan amat penting untuk menilai evolusi temporal dan spatial kegagalan berganda untuk suatu tempoh masa yang lama (contoh tahun hingga dekad) (Galli *et al.*, 2008).

Proses pengecaman tanah runtuhan dan penyediaan peta inventori geobahaya tanah runtuhan amat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antaranya dikaitkan dengan sumber dokumen (e.g. skala, resolusi spatial, tarikh), jenis dan saiz tanah runtuhan, dan juga kemahiran pakar yang terbabit. Walaupun kini terdapat berbagai teknologi termaju dan produk satelit baru, tafsiran visual fotograf yang diambil dari udara masih merupakan kaedah yang paling popular untuk mendapatkan maklumat mengenai tanah runtuhan tanpa mengambil kira faktor tanah runtuhan baharu, aktif atau tak-aktif mahupun yang lama (Guzzetti *et al.*, 2012).

Kini terdapat pelbagai sumber maklumat yang boleh digunakan sebagai imej optikal penderiaan jauh dan maklumat topografi hasilan LiDAR (Ardizzone *et al.*, 2007; van den Eeckhaut *et al.*, 2007; Haneberg *et al.*, 2009; Martha *et al.*, 2010; van den Eeckhaut *et al.*, 2012; Razak *et al.*, 2011) untuk membantu dalam pengesanan dan pemetaan tanah runtuhan. Imej-imej yang diperolehi daripada pengesanan satelit SAR (*Synthetic Aperture Radar*) juga boleh dianggap sebagai suatu sumber yang cukup bermaklumat, terutamanya untuk mengesan tanah runtuhan yang bergerak perlahan (Singhroy & Molch, 2004; Zhou *et al.*, 2002).

Walau secanggih mana sekalipun alat bantuan dan imej penderiaan jauh yang digunakan, proses pengenalpastian tanah runtuhan bukanlah suatu proses yang mudah. Ralat yang terhasil mempengaruhi ketepatan dan kebolehppercayaan sesebuah peta geobahaya tanah runtuhan yang dihasilkan (Ardizzone *et al.*, 2002). Pengetahuan asas geomorfologi dan proses-proses geomorfologi yang bertindak pada cerun amat diperlukan untuk mengenalpasti dan menghasilkan peta dan inventori tanah runtuhan yang tepat dan terperinci (Guzzetti *et al.*, 2012; van den Eeckhaut *et al.*, 2007; Wills & McCrink, 2002).

Selain kemahiran dan pengalaman pentafsir, kualiti sesebuah peta geobahaya tanah runtuhan yang dihasilkan juga bergantung kepada resolusi spatial fotograf udara, imej satelit, skala peta topografi yang digunakan dan kompleksiti landskap (Ardizzone *et al.*, 2002; Carrara *et al.*, 1992; Galli

a) Tanah Runtuh Baharu

- Rupa bentuk & geometri tanah runtuh jelas.
- Fitur-fitur yang berasosiasi dengan jasad tanah runtuh seperti tubir utama, kepala, rekahan tensi, blok-blok batuan/tanah, masih dapat dibezakan dengan jelas.
- Alur sungai tersekat akibat empangan sementara oleh jasad runtuhan.

b) Tanah Runtuh Pendam-Muda

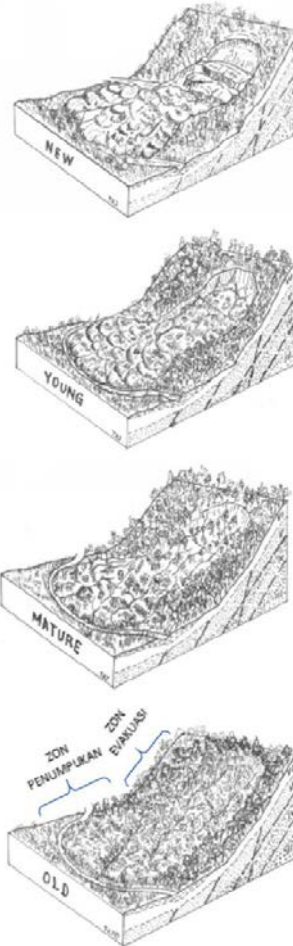
- Rupa bentuk, geometri dan fitur-fitur utama yang berasosiasi dengannya masih jelas kelihatan.
- Bahagian jasad runtuhan masih jelas, tetapi telah beransur-ansur dilicinkan oleh hakisan dan pemendapan sedimen. Tindakan air larian mula membentuk hakisan galur dan galir.
- Rumput dan tumbuhan sekunder mula tumbuh menutupi sebahagian permukaan runtuhan.
- Sungai mula membentuk alur lengkung mengikut cuping/kaki runtuhan.

c) Tanah Runtuh Pendam-Dewasa

- Rupa bentuk, geometri dan fitur-fitur utama yang berasosiasi dengannya semakin kabur dan tidak jelas.
- Bahagian jasad runtuhan semakin susut, tetapi topografi di bahagian bawah runtuhan masih kekal beralun.
- Tutupan tumbuh-tumbuhan semakin menebal.
- Saliran baharu baru mula terbentuk akibat hakisan galur yang semakin mendalam dipermukaan runtuhan dan bercabang ke hulu dalam bentuk 'Y'.
- Longgokan kolovium semakin jelas dibahagian ekor & kaki runtuhan.

d) Tanah Runtuh Pendam-Tua

- Rupa bentuk runtuhan semakin kabur akibat hakisan, luluhawa dan tutupan tumbuh-tumbuhan.
- Kehadiran bekas tanah runtuh dikesan daripada kontras tutupan & kepadatan tumbuh-tumbuhan.
- Tutupan tumbuh-tumbuhan lebih tebal di bahagian zon akumulasi kerana tekstur tanah longgar dan kandungan air tinggi.
- Zon evakuasi membentuk morfologi cekung masih boleh dikesan pada cerun, manakala zon penumpukan membentuk morfologi cembung landai hingga hampir mendatar.



Rajah 4: Evolusi dan kitaran geomorfik tanah runtuh cerun semulajadi di kawasan perbukitan dan tanah tinggi tropika lembab seperti Malaysia (dilukis semula daripada Cruden & Varnes, 1996; Nicoll, 2010).

et al., 2008). Tidak dinafikan, kadangkala tafsiran daripada imej udara boleh menghasilkan ralat pada peta tanah runtuh yang dihasilkan (Marchesini *et al.*, 2013; Santangelo *et al.*, 2015). Lebih-lebih lagi di kawasan tanah tinggi tropika yang ditutupi hutan tebal dan juga aktiviti manusia, terutama aktiviti penggondolan bukit, pembalakan dan pertanian di tanah tinggi yang ekstensif seperti di Cameron Highlands, Tanah Tinggi Lojing dan Kundasang. Oleh itu, setiap peta yang dihasilkan daripada tafsiran imej melalui kaedah penderiaan jauh perlu disusuli dengan pemetaan dan pemeriksaan di lapangan untuk tujuan validasi peta.

GEOBAHAYA TANAH RUNTUH LAMA DI MALAYSIA: ISU DAN CABARAN

Tanah runtuh yang masih baru mudah untuk dikenali, baik pada cerun buatan mahupun pada cerun semulajadi. Tanah runtuh baharu jelas dicirikan oleh “luka” yang terbentuk pada muka cerun, runtuhan yang berlaku jasad bahan pembentuk cerun dan impaknya kepada struktur binaan atau tumbuh-tumbuhan. Bagaimanapun, perkara yang menjadi isu dan cabaran kepada pengkaji tanah runtuh ialah untuk mengenal pasti tanah runtuh yang lama.

Pengalaman di Malaysia menunjukkan bahawa kewujudan sesebuah tanah runtuh lama yang berskala besar dan berkedudukan dalam (*deep-seated*) hanya disedari apabila kawasan tersebut diterokai untuk projek pembangunan infrastruktur. Tanah runtuh lama yang tersembunyi di sebalik tutupan tebal hutan hujan tropika tidak dapat dikesan walaupun melalui siri penyiasatan tapak yang melibatkan lubang gerudi, sekiranya data-data lubang gerudi tidak dianalisis dan ditafsir oleh penyiasat yang berpengalaman. Oleh itu, tidak menghairankan jika berlaku beberapa kes pembangunan infrastruktur yang telah dibangunkan di dalam kawasan tanah runtuh lama (Tajul Anuar Jamaluddin, 2019; 2015). Akibatnya pelbagai masalah kejuruteraan dan geoteknik timbul semasa pembinaan dan selepas pembinaan kerana pengaktifan semula tanah runtuh yang telah lama akibat gangguan oleh aktiviti manusia dan tindakan cuaca ekstrim yang mengubah keseimbangan ekosistem pada jasad dan parut runtuhan. Pengenalpastian kewujudan tanah runtuh lama baharu atau tua amat penting dilakukan secara terperinci untuk mengelak dan mencegah kejadian geobencana berkaitan pengaktifan semula tanah runtuh lama.

KAEDAH MENGESAN DAN MEMETAKAN TANAH RUNTUH LAMA

Bagi tanah runtuh pendam dan lama, parutnya masih boleh dikesan melalui cerapan yang teliti dan pemahaman proses-proses geologi yang mengubah-suai morfologi asalnya. Bersesuaian dengan usia tanah runtuh itu sendiri, semakin tua usianya semakin luntur rupa bentuknya dan semakin sukar untuk dikenalpasti.

Rajah 4 boleh dijadikan panduan berguna untuk mengenali kewujudan tanah runtuh pendam atau tua dan lama. Rajah 4a menunjukkan suatu contoh tanah runtuh yang masih baru dengan rupa-bentuk dan ciri-ciri fizikal yang jelas. Tanah runtuh yang lama dan tidak aktif boleh dikategorikan sebagai **tanah runtuh lama-muda** (Rajah 3b), **lama-dewasa** (Rajah 3c) dan **tanah runtuh lama-tua** (Rajah 3d). Kesemua tanah runtuh-lama, sama ada lama-muda atau lama-tua, boleh dikategorikan sebagai geobahaya kerana pengalaman di Malaysia (Tajul Anuar Jamaluddin, 2019, 2015, 2007, 2006a, 2006b) menunjukkan kebarangkalian tanah runtuh itu untuk berulang atau diaktifkan semula adalah tinggi, terutama apabila cerun tersebut diganggu oleh aktiviti manusia atau terdedah kepada cuaca ekstrem (hujan terlalu lebat).

Mengenalpasti tanah runtuh yang besar lebih mudah dilakukan melalui pencerapan imej satelit, fotograf udara atau peta kontour. Tanah runtuh yang ditafsirkan daripada fotograf udara/imej satelit, ditentusahkan kewujudannya melalui kajian lapangan. Tanah runtuh yang baru dan aktif lazimnya tidak sukar untuk dikenalpasti. Bagaimanapun, tanah runtuh berskala besar, yang mencapai ratusan atau ribuan meter panjang dan/atau lebarnya, kewujudannya mungkin tidak disedari kerana tidak kelihatan walaupun seseorang itu berada di dalamnya. Di lapangan, seseorang mungkin tidak menyedari yang beliau sedang berpijak di atas sebuah tanah runtuh. Cabaran utama ialah untuk mengesan tanah runtuh lama dan tua berskala besar yang telah dikaburi oleh hakisan dan ditutupi oleh tumbuh-tumbuhan tebal (Tajul Anuar Jamaluddin, 2015).

Beberapa petunjuk yang diberikan (Highland & Bobrowsky, 2008; Keaton & DeGraff, 1996; McCalpin, 1984; Tajul Anuar Jamaluddin, 2015) boleh dijadikan panduan. Antaranya ialah kewujudan fitur-fitur 1) topografi dan geomorfologi, 2) saluran dan air, dan 3) tumbuh-tumbuhan semulajadi pada sesebuah cerun, seperti yang disenaraikan pada Jadual 1. Kesemua fitur yang disenaraikan ini boleh dijadikan panduan untuk mengenalpasti kewujudan geobahaya tanah runtuh pada cerun semulajadi di terrain rantau tropika lembab seperti di Cameron Highlands.

KAJIAN-KAJIAN KES

Dua lokasi utama dirasakan amat sesuai untuk dijadikan makmal lapangan untuk mengesan, mengenalpasti dan memetakan tanah runtuh lama yang berskala besar iaitu: 1) Ladang Teh Sg Palas, Cameron Highlands, dan 2) Kompleks Gelinciran Tanah Kundasang, Sabah.

Cameron Highlands

Kewujudan geobahaya tanah runtuh pada cerun semulajadi merupakan suatu pemandangan yang biasa di kawasan perbukitan Cameron Highlands. Ini boleh dilihat daripada kewujudan parut-parut tanah runtuh lama yang telah ditutupi oleh tumbuh-tumbuhan semulajadi ataupun tanaman-tanaman ladang. Morfologi dan rupabentuk tanah runtuh lama paling jelas dapat dilihat di ladang-ladang teh di Cameron Highlands. Ladang Teh Sungai Palas menjadi pilihan kerana topografi asal cerun-cerun bukit masih dikekalkan dengan baik dan tutupan tanam teh secara relatifnya nipis dan seragam serta tidak menjejaskan morfologi asal cerun. Beberapa jenis geobahaya tanah runtuh yang lazim ditemui di Cameron Highlands ditunjukkan dalam Rajah 5.

Seperti yang ditandakan dalam Rajah 5a, beberapa jenis tanah runtuh lama dapat dipetakan melalui cerapan ke atas morfologi cerun bukit dan juga lurah-lurah yang wujud bersama. Tanah runtuh lama itu umumnya ditandai oleh morfologi tubir kepala yang melengkung (*arcuate head-scarp*) yang lebih curam secara tiba-tiba berbanding kecuraman cerun bukit. Pandangan dari atas pula memperlihatkan morfologi seakan bentuk sudu.

Berdasarkan pengelasan peringkat kitaran geomorfologi yang ditunjukkan dalam Rajah 4, tanah runtuh lama ini mirip kepada gelinciran tanah lama-dewasa atau lama-tua. Bentuk asal jasad yang gagal telah semakin kabur, sama ada ditutupi tumbuh-tumbuhan ataupun lenyap ditelan hakisan. Yang masih jelas kelihatan adalah kelengkungan dan lekukan topografi (topographic depression) yang masih berbekas pada cerun bukit. Bahan yang terkumpul di bahagian ekornya atau di kaki cerun membentuk cuping dengan topografi beralun (*hummocky topography*). Kewujudan sisa-sisa debris atau longgokan-longgokan kolovium di kaki cerun atau di bawah parut tanah runtuh lama (Rajah 5b) serta gelongsoran tanah berganda (Rajah 5c) boleh dijadikan petunjuk untuk mengesahkan tanah runtuh lama.

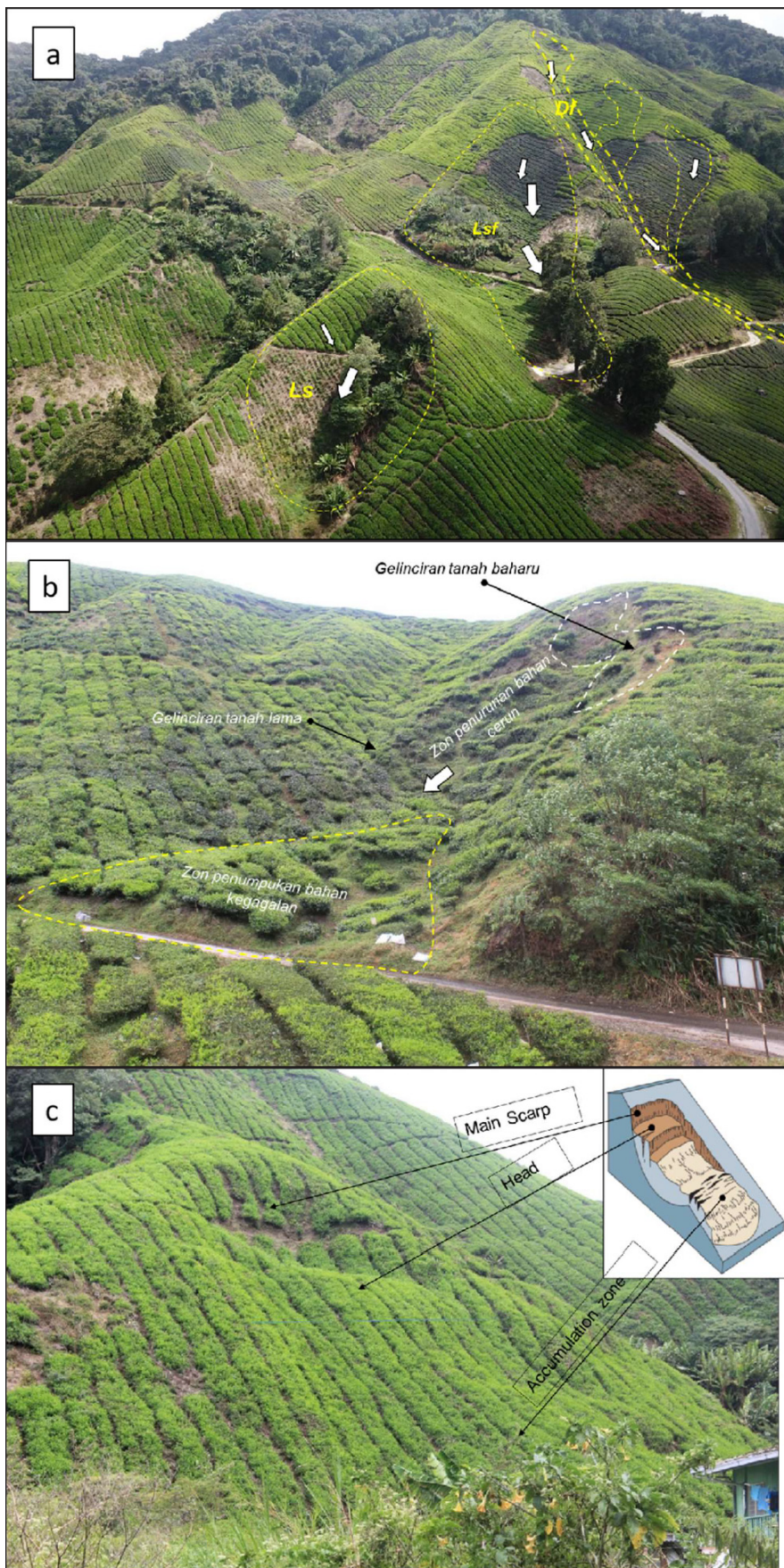
Kundasang, Sabah

Kundasang dikenali sebagai sebuah kompleks gelinciran tanah kerana di kawasan ini terdapat banyak unit dan sistem tanah runtuh yang berbagai bentuk, saiz, ragam dan usia (Ibrahim Komoo & Lim, 2003; Ibrahim Komoo & Mogana, 2000). Walaupun usia sebenar tanah runtuh tidak diketahui dan masih perlukan kajian lanjutan, berdasarkan fitur-fitur geomorfologi dan tutupan tumbuh-tumbuhan pada parut dan jasad tanah runtuh tersebut, sebahagian daripada mereka jelas menunjukkan ciri-ciri tanah runtuh lama atau sangat tua.

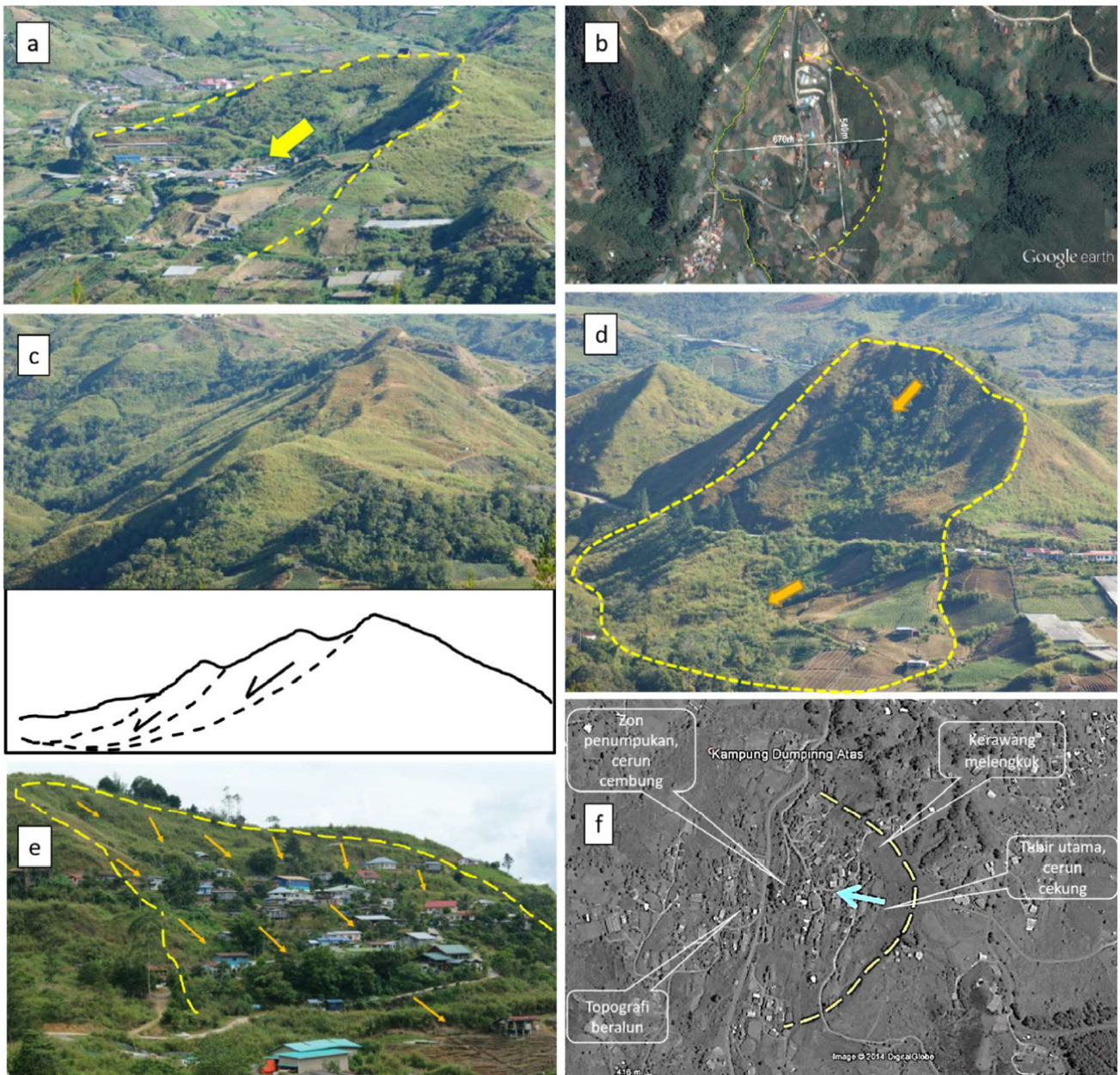
Contoh yang ditunjukkan dalam Rajah 6a jelas menunjukkan ciri-ciri tanah runtuh lama. Fitur geomorfologi tanah runtuh secara umumnya telah kabur, namun fitur pengenalan yang berupa kerawang melengkuk, tubir utama yang cekung dan zon penumpukan yang cembung. Bahagian kakinya yang beralun landai dijadikan kawasan penempatan penduduk kampung. Pada pandangan pelan imej satelit

Jadual 1: Fitur yang boleh dijadikan panduan untuk mengenalpasti kewujudan geobahaya tanah runtuh pada cerun semulajadi di terain rantau tropika lembab seperti di Cameron Highlands.

<i>1 - Fitur Topografi/Geomorfologi</i>	<i>2 - Fitur Saliran/Air</i>	<i>3 - Fitur tumbuh-tumbuhan</i>
<p>a) Tubir-kepala yang melengkung (Arcuate head-scarp) dan berinding lebih curam berbanding kecerunan keseluruhan cerun. Sesetengah pengkaji tanah runtuh menggelarkannya sebagai “eyebrow” atau fitur morfologi seakan kening mata.</p> <p>b) Morfologi seperti sudu atau seakan lurah tergantung dengan bentuk separa membulat pada cerun bukit.</p> <p>c) Cerun cekung (zon evakuasi) dan cerun cembung (zon penumpukan).</p> <p>d) Topografi beralun (hummocky topography) di bahagian kaki cerun akibat penumpukan bahan cerun yang telah bergerak ke bawah.</p> <p>e) Longgokan kolovium di kaki cerun, khususnya di bawah/hilir morfologi lurah tergantung.</p> <p>f) Bonggolan di hujung kaki cerun, yang mewakili cuping luaran (outer lobes) bahan runtuhan yang merayap ke hilir kaki cerun.</p> <p>g) Rekahan-rekahan terbuka (rekahan tensi) di bahagian atas kerawang.</p> <p>h) Pencuraman cerun secara mendadak.</p> <p>i) Morfologi seakan bertangga (step-like morphology)</p> <p>j) Terbentuk tubir berlawanan arah kecerunan (counter scarp).</p>	<p>a) Saliran yang bercabang dan bercorak “Y” di bahagian hulu cerun, terutama pada tanah runtuh pendam peringkat tua yang telah lama diukir oleh hakisan permukaan.</p> <p>b) Anomali pada pola saliran. Anomali berupa alur saliran yang terputus, terlencong atau teralih cerun secara tiba-tiba kerana halangan akibat longgokan bahan cerun yang runtuh dan yang menimbus alur sungai asal.</p> <p>c) Kemunculan zon air tergenang atau bertakung (tasik).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Morfologi lekukan boleh terbentuk di antara zon evakuasi dan zon penumpukan sesebuah jasad tanah runtuh, khususnya pada jenis gelinciran putaran yang dalam. Ini membolehkan terbentuknya takungan air di bahagian tengah jasad tanah runtuh terutama pada musim hujan. • Kewujudan tasik semulajadi di hulu alur sungai yang mewakili kolam takungan empangan tanah runtuh. Lazimnya fitur ini berlaku pada tanah runtuh berskala besar yang menyekat aliran sungai. Adakalanya walaupun empangan tanah runtuh itu telah pecah dan telah terbentuk alur sungai yang baharu, masih terdapat bahan runtuhan yang menyekat aliran sungai hingga membolehkan terbentuknya kolam semulajadi di bahagian hulu alur sungai. <p>d) Zon mata air atau bahan yang basah atau tepu. Zon ini biasanya tertumpu di bahagian kaki cerun.</p>	<p>a) Perbezaan kepadatan tumbuh-tumbuhan pada kawasan tanah runtuh dengan kawasan cerun sekitarnya. Biasanya bekas laluan bahan runtuhan tanah runtuh yang lama akan ditutupi oleh tutupan tumbuh-tumbuhan sekunder yang lebih muda dan tutupannya nipis berbanding dengan yang disekitarnya.</p> <p>b) Pada jasad runtuhan, pokok-pokok biasanya tumbang atau condong. Apabila pergerakan tanah runtuh berhenti, pokok tadi terus tumbuh dan membesar lalu menghasilkan batang pokok yang bengkok atau berkelok.</p> <p>c) Longgokan kayu atau pokok mati yang bercampur dengan debris juga boleh dijadikan petunjuk untuk kewujudan tanah runtuh lama.</p>



Rajah 5: (a) Beberapa parut tanah runtuh pendam atau lama yang dikesan di kawasan perbukitan kebun Sg Palas, Cameron Highlands. (Ls - Gelinciran tanah; Lsf - Gelinciran-aliran tanah; Df - Alur aliran debris), (b) Contoh parut tanah runtuh lama (peringkat pendam-tua) yang telah diaktifkan semula di bahagian atasnya (tubir utama) akibat hujan lebat. Lokasi: Ladang Teh Sungai Palas, (c) Geobahaya tanah runtuh lama (peringkat pendam-dewasa) – gelongsoran tanah berganda yang masih mengekalkan bentuknya dengan agak jelas.



Rajah 6: (a) Tanah runtuh lama (peringkat pendam-tua) yang dicirikan oleh kerawang melengkuk, dengan tubir utama yang curam dan cekung, (b) Tanah runtuh pendam-tua yang sama seperti dalam Rajah 9, dilihat dari udara melalui imej satelit Google Earth (pandangan plan). Perhatikan kesan bahan cerun yang runtuh menolak dan melencongkan aliran sungai di kaki cerun, (c) Pandangan sisi cerun bukit yang telah gagal dalam bentuk gelongsoran berganda, menghasilkan morfologi teres bertingkat bersama lakaran keratan rentas menunjukkan tafsiran profil tanah runtuh, (d) Bentuk topografi tanah runtuh lama, berkedudukan dalam dan berskala besar di Kundasang. Perhatikan alur saliran yang bercabang bentuk-Y ke bahagian hulu cerun, kerawang melengkuk, muka cerun keseluruhan cekung-cembung, topografi beralun di bahagian kakim, (e) Kampung Dumpiring Atas, Kundasang yang dibangunkan di dalam jasad tanah runtuh lama, (f) Pandangan plan tanah runtuh lama berskala besar di Kampung Dumpiring Atas, Kundasang.

Google Earth (Rajah 6b), tanah runtuh ini didapati telah menyebabkan perlencongan alur sungai secara tiba-tiba di hilir cerun. Ini mengakibatkan pengaktifan semula dalam bentuk gelinciran tanah cetek dikesan berlaku pada tubir utama yang curam.

Tanah runtuh lama berskala besar yang ditemui di Kundasang boleh juga dicirikan oleh muka cerun bukit yang bertingkat-tingkat (*stepped, anomalous benches*) di bahagian kepalanya (Rajah 6c). Jika dilakarkan keratan rentas cerun bukit yang telah gagal tersebut, profilnya mungkin kelihatan seperti dalam Rajah 6c.

Suatu lagi contoh klasik tanah runtuh lama-tua dengan ciri pengenalan yang berupa morfologi “seperti-sudu” seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 6d. Tanah runtuh ini jelas menunjukkan ciri-ciri tanah runtuh lama kerana tubir utamanya telah terkelar oleh alur-alur hakisan yang bercabang berbentuk-Y dan ditutupi pula oleh tumbuh-tumbuhan yang agak tebal dan rimbun. Bahagian kakinya bertopografi beralun dan sebahagiannya telah dibangunkan sebagai ladang pertanian. Tumbuh-tumbuhan kelihatan lebih rimbun di bahagian runtuhan cerun berbanding dengan sekitarnya, menandakan tinggi kandungan air dan tekstur tanah yang terganggu dan longgar.

Kampung Dumpiring Atas, Kundasang adalah suatu contoh klasik bagaimana kawasan penempatan dibina di dalam jasad tanah runtuh lama berskala besar (Rajah 5e & 5f). Berlakunya situasi sebegini kerana kurang atau tiada pengetahuan asas tentang tanah runtuh lama dan geobahaya yang berasosiasi dengannya. Walaupun bahagian hulu dan kepala tanah runtuh ini sudah tidak aktif dan lama, tetapi di bahagian kaki dan ekornya, tanah runtuh ini masih bergerak secara rayapan (beberapa cm setahun) dan bertambah laju pada musim hujan. Rayapan merupakan suatu keadaan dimana tanah runtuh bergerak dengan kadar yang amat perlahan akibat sifat kelikatan bahan berlempung di dalam tanah (Nazer & Tarantino, 2016). Akibatnya, pelbagai jenis kerosakan berlaku secara beransur-ansur dan perlahan. Contohnya, struktur dan bumbung rumah tercangga hingga menyebabkan pintu dan tingkap rumah semakin ketat, atap rumah bocor dan tidak terkecuali, jalan raya yang dibina merentasi kaki jasad tanah runtuh itu terpaksa diturap setiap tahun kerana mengalami kerosakan yang berulang.

PERBINCANGAN

Tanah runtuh di dalam terain tropika semulajadi berskala kecil hingga sangat besar, dan boleh berupa gelinciran, gelongsoran dalam atau rayapan. Tanah runtuh itu juga boleh wujud dalam bentuk unit, sistem atau kompleks tanah runtuh. Kitaran geomorfologinya boleh dikelaskan kepada tanah runtuh baharu (masih aktif), lama-muda, lama-dewasa hingga lama-tua dengan berpadukan kepada ciri-ciri fizikal dan geometri fitur-fitur geomorfologi serta tutupan tumbuh-tumbuhan dan pola saliran yang berasosiasi dengan sesebuah tanah runtuh. Aktiviti tanah runtuh lama diteruskan oleh tanah runtuh susulan dengan fitur yang lebih besar dan bulat

berbanding tanah runtuh sebelumnya (Samia *et al.*, 2017). Walaupun di rantau beriklim tropika lembab, fitur-fitur geomorfologi tanah runtuh lebih cepat terubah suai dan ditutupi oleh tumbuh-tumbuhan, namun kewujudannya masih boleh dikesan melalui cerapan dengan kaedah pemerhatian jauh dan cerapan lapangan yang terperinci.

Bergantung kepada keadaan geologi cerun, sesebuah tanah runtuh lama boleh jadi lama keseluruhannya, atau aktif di bahagian hulu, terutama pada cerun tubir utama yang curam, atau lama di bahagian hulu tetapi aktif di bahagian hilir terutama pada cerun cuping yang curam. Tanah runtuh lama lazimnya diaktifkan semula apabila berlaku gangguan pada ekosistem fizikalnya, sama ada oleh aktiviti manusia atau cuaca ekstrim (hujan lebat dan berpanjangan). Tanah runtuh lama (sama ada muda, dewasa atau tua) adalah geobahaya yang boleh mendatangkan bencana (berisiko geobencana).

Kawasan tanah runtuh lama bukanlah bermakna unsur geobahaya semata-mata. Banyak contoh di tanah tinggi Cameron Highlands dan Kundasang menunjukkan, kebanyakan ladang sayur dibina, tetapi juga membawa manfaat kepada aktiviti sosio-ekonomi manusia. Kawasan ekor atau bahagian hilir tanah runtuh menyediakan kawasan yang agak landai dan beralun dengan longgokan sisa runtuhan (aluvium dan kolovium) yang longgar dan berair yang amat baik dan subur untuk aktiviti pertanian.

KESIMPULAN

Kemunculan sesebuah tanah runtuh ditandai oleh himpunan fitur-fitur geomorfologi tersendiri. Kemunculan tanda-tanda seperti tubir yang melengkung di bahagian hulu yang disertai dengan zon penyusutan (*depletion zone*) dan diikuti dengan zon penumpukan (*accumulation zone*) di bahagian tengah hingga kaki cerun adalah di antara tanda-tanda pengenalan utama. Bergantung pula kepada kejelasan fitur-fitur cirian sesebuah tanah runtuh (e.g. kerawang, tubir utama, kepala, jasad runtuhan, ekor dan kaki, seperti dalam Rajah 1), ketebalan dan ketumpatan tutupan tumbuh-tumbuhan, pola sistem saliran, topografi dan rupa bumi umum pada sesebuah cerun atau lurah boleh juga dijadikan ukuran untuk menganggar usia relatif sesebuah tanah runtuh lama; sama ada lama-muda, lama-dewasa atau lama-tua. Contoh-contoh tanah runtuh lama yang dibawakan daripada Ladang Teh Cameron Highlands, jelas menunjukkan bahawa landskap tanah runtuh lama ini berusia lebih 100 tahun. Ini menunjukkan bahawa tanpa aktiviti penggondolan hutan dan penarahan bukit (kerja tanah) yang signifikan, morfologi tanah runtuh di kawasan ini masih boleh kekal bertahan dan masih boleh tampak di mata walaupun telah mencecah ratusan tahun usianya.

Tanah runtuh lama terdedah kepada pengaktifan semula, terutama di bahagian hulu (tubir utamanya) kerana sudut cerun yang lebih curam. Pengaktifan semula juga boleh berlaku di bahagian kaki cerun akibat rayapan yang perlahan atau runtuhan akibat tujahan cuping (*lobe-*

thrust). Oleh kerana tiada rekod sejarah, maka agak sukar untuk menentukan bilakah tarikh dan keadaan cuaca yang sebenar pengaktifan semula itu berlaku. Kajian ini juga jelas membuktikan bahawa tanah runtuh lama (sama ada lama-muda, dewasa atau tua) adalah sejenis geobahaya yang berdarjah tinggi. Kewujudannya perlu diberi perhatian serius kerana gangguan oleh aktiviti manusia dan cuaca ekstrim boleh mencetuskan geobencana tanah runtuh baharu akibat pengaktifan-semula tanah runtuh lama. Peta-peta inventori tanah runtuh yang disediakan perlu memasukkan tanah runtuh pendam dan lama sebagai sebahagian unsur inventori geobahaya. Ini penting untuk membantu memahami dan meramalkan tanah runtuh yang bakal berlaku di masa akan datang.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan ucapan terima kasih tidak terhingga kepada semua pihak yang terlibat secara langsung mahupun tidak langsung di dalam kajian ini. Adalah diharapkan, kajian ini menjadi titik tolak permulaan kajian tanah runtuh lama yang jarang sekali dikupas oleh mana-mana pengkaji di negara kita serta menjawab segala persoalan mengenai insiden geobahaya dan geobencana yang berlaku selama ini.

RUJUKAN / REFERENCES

- Abdul Ghani Rafek, Ibrahim Komoo & Tan, T.H., 1989. Influence of geological factors on slope stability along the East-West Highway, Malaysia. *Proc. Int. Conf. Engineering Geology in Tropical Terrain*. Bangi, 79-93.
- Agliardi, F., Crosta, G.B. & Zanchi, A., 2001. Structural constraints on deep seated slope deformation kinematics. *Engineering Geology*, 59, 83-102.
- Aleotti, P. & Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 21-44.
- Ardizzone, F., Cardinali, M., Carrara, A., Guzzetti, F. & Reichenbach, P., 2002. Impact of mapping errors on the reliability of landslide hazard maps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2 (1-2), 3-14.
- Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M., Guzzetti, F. & Reichenbach, P., 2007. Identification and mapping of recent rainfall-induced landslides using elevation data collected by airborne LiDAR. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7(6), 637-650.
- Bell, R., Petschko, H., Röhrs, M. & Dix, A., 2012. Assessment of Landslide Age, Landslide Persistence and Human Impact Using Airborne Laser Scanning Digital Terrain Models. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 94(1), 135-156. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/41431043>.
- Bertolini, G. & Tellini, C., 2001. New radiocarbon dating for landslide occurrences in the Emilia Apennines (Northern Italy). *Trans. Japan. Geom. Un.*, 22(4), C-23.
- Bouali, El H., Oommen, Thomas & Escobar-Wolf, Rüdiger, 2019. Evidence of Instability in Previously-Mapped Landslides as Measured Using GPS, Optical, and SAR Data between 2007 and 2017: A Case Study in the Portuguese Bend Landslide Complex, California. *Remote Sens*, 11(8), 937.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. & Reichenbach, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16(5), 427-445.
- Carrara, A., Cardinali, M. & Guzzetti, F., 1992. Uncertainty in assessing landslide hazard and risk. *ITC Journal*, 2, 172-183.
- Crozier, M.J., 1986. *Landslides: causes, Consequences & Environment*. Croom Helm Pub, London. 252 p.
- Crozier, M.J., 2010. Landslide geomorphology: An argument for recognition, with examples from New Zealand. *Geomorphology*, 120(1-2), 3-15.
- Crozier, M.J., 1999. Prediction of rainfall-triggered landslides: a test of the Antecedent Water Status Model. *Earth Surface Processes & Landforms*, 24(9), 825-833.
- Cruden, D.M., 1991. A simple definition of a landslide. *Bulletin International Association for Engineering Geology*, 43, 27-29.
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides, Investigation and Mitigation, Special Report 247*. Transportation Research Board, Washington D.C., p. 36-75. ISSN: 0360-859X, ISBN: 030906208X.
- Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L. & Ibsen, M-L., 1996. *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*. Wiley & Sons, Chichester. 274 p.
- Doornkamp, J.C., 1989. Hazards. In: G.J.H. McCall and B.R. Marker (Eds.), *Earth Science Mapping for Planning, Development and Conservation*, Graham and Trotman, London, p 157-173.
- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F. & Reichenbach, P., 2008. Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology*, 94, 268-289. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.023>.
- Glade, T. & Crozier, M.J. (eds.), 2010. *Landslide geomorphology in a changing environment*, *Geomorphology*, 120(1-2), 1-90.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. & Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M. & Chang, K.T., 2012. Landslide inventory maps: new tools for an old problem. *Earth-Sci. Rev.*, 112, 42-66. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001>.
- Haneberg, W.C., Cole, W.F. & Kasali, G., 2009. High-resolution lidar-based landslide hazard mapping and modeling, UCSF Parnassus Campus; San Francisco, USA. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68, 263-276.
- Hansen, A., 1984. Landslide Hazard Analysis. In: Brunsen, D. and Prior, D.B. (Eds.), *Slope Instability*, John Wiley and Sons, New York, 523-602.
- Hamzah Hussin, Sarah Aziz Abdul Ghani & Tajul Anuar Jamaluddin, 2013. Tanah Runtuh Di Malaysia: "Geobencana" Atau "Geobahaya". *Jurnal Teknologi*, 77(1), 229-235.
- Highland, L.M. & Bobrowsky, Peter, 2008. *The landslide handbook—A guide to understanding landslides*. Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325. 129 p.
- Hutchinson, J.N., 1988. General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrology. *Proceedings 5th International Symposium on Landslides*, Lausanne, 1, 3-35.
- Hutchinson, J.N., 1995. Landslide Hazard Assessment. Keynote Paper. In: Bell, D.H. (Ed.), *Landslides, Proceeding of 6th International Symposium on Landslides*, Christchurch, Vol. 1, Balkema, Rotterdam, 1805-1841.
- Ibrahim Komoo, 1986. Pengelasan kegagalan cerun di Malaysia. *J. Ilmu Alam*, 14 & 15, 47-58.

- Ibrahim Komoo & Lim, C.S., 2003. Kompleks Gelinciran Tanah Kundasang: Pemetaan Terperinci di Kawasan Sekolah Menengah Kebangsaan Kundasang. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 46, 387-392.
- Ibrahim Komoo & Mogana, S.N., 2000. The Kundasang Landslide Complex, Sabah, Malaysia. *Journal Nepal Geological Society (Special Issue), International Symposium on Engineering Geology, Hydrogeology & Natural Disasters with Emphasis on Asia*, V230.
- Ibrahim Komoo & Abdul Ghani Rafek, 1988. Faktor penyebab utama kegagalan cerun di Lebuhraya Timur-Barat, Malaysia. *Laporan Teknik FSFG*, 2(1), 36-47.
- Keaton, J.R. & DeGraff, J.V., 1996. Surface observation and geologic mapping. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides, investigation and mitigation*. Transportation Research Board Special Report 247, Washington D.C., National Research Council, 178-230.
- Lang, A., Moya, J., Corominas, J., Schrott, L. & Dikau, R., 1999. Classic and new dating methods for assessing the temporal occurrence of mass movements. *Geomorphology*, 30, 33-52.
- Lyell, C., 1883. *Principles of Geology*. Vol.1 & 2. W. Clowes, Stamford Street, London. 348 p.
- Marchesini, I., Santangelo, M., Fiorucci, F., Cardinali, M., Rossi, M. & Guzzetti, F., 2013. A GIS method for obtaining geologic bedding attitude. In: Margottini, C., Canuti, P., and Sassa, K. (Eds.), *Landslide Science and Practice*, Springer, Berlin, Heidelberg, 243-247.
- Martha, T.R., Kerle, N., Jetten, V., van Westen, C. & Vinod Kumar, K., 2010. Characterising spectral, spatial and morphometric properties of landslides for semi-automatic detection using object-oriented methods. *Geomorphology*, 116, 24-36.
- McCall, 1992. Natural and mad-made hazards: their increasing importance in the end-20th century world. In: McCall, G.J.H., Lamming, D.J.S. & Scott, S.C. (Eds.) *Geohazards - Natural and Man-made*. Chapman & Hall, London, 1-4.
- McCalpin, J., 1984. Preliminary age classification of landslides for inventory mapping. *Proceedings 21st annual Engineering Geology and Soils Engineering Symposium*. University Press, Moscow, Idaho, 99-111.
- Nazer, N.S.M. & Tarantino, A., 2016. Creep response in shear of clayey geo-materials under saturated and unsaturated conditions. *E3S Web of Conferences*, Vol. 9, EDP Sciences.
- Nicoll, K., 2010. Geomorphic and hazard vulnerability assessment of recent residential developments on landslide-prone terrain: the case of the Traverse Mountains, South Salt Lake Valley, Utah, USA. *Journal of Geography and Regional Planning*, 3, 126-141. <http://www.academicjournals.org/JGRP/PDF/pdf2010/Jun/Nicoll.pdf>.
- Nemcok A., Pasek, J. & Rybar, J., 1972. Classification Of Landslides And Other Mass Movements. *Rock Mechanics*, 4, 71-78.
- Parise, M., 2010. Observation of surface features on an active landslide, and implications for understanding its history of movement. *Natural Hazards and Earth System Science*, 3(6), 569-580. <https://doi.org/10.5194/nhess-3-569-2003>.
- Razak, K.A., Straatsma, M.W., van Westen, C.J., Malet, J.-P. & de Jong, S.M., 2011. Airborne laser scanning of forested landslides characterization: terrain model quality and visualization. *Geomorphology*, 126, 186-200. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.11.003>.
- Rib, H.T. & Ta Liang, 1978. Recognition and Identification. In: *Special Report 176: Landslides: Analysis and Control*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., Chap. 3, 34-80.
- Samia, J., Temme, A., Bregt, A., Wallinga, J., Guzzetti, F., Ardizzone, F. & Rossi, M., 2017. Do landslides follow landslides? Insights in path dependency from a multi-temporal landslide inventory. *Landslides*, 14(2), 547-558.
- Santangelo, M., I. Marchesini, F. Bucci, M. Cardinali, F. Fiorucci, & F. Guzzetti, 2015. An approach to reduce mapping errors in the production of landslide inventory maps. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 2111-2126.
- Singhroy, V. & Molch, K., 2004. Characterizing and monitoring rockslides from SAR techniques. *Advances in Space Research*, 33(3), 290-295.
- Soldati, M., Borgatti, L., Cavallin, A., De Amicis, M., Frigerio, S., Giardino, M., Mortara, G., Pellegrini, G.B., Ravazzi, C., Surian, N., Tellini, C. & Zanchi, A., in collaboration with Alberto, W., Albanese, D., Chelli, A., Corsini, A., Marchetti, M., Palomba, M. & Panizza, M., 2006. Geomorphological evolution of slopes and climate changes in northern Italy during the Late Quaternary: spatial and temporal distribution of landslides and landscape sensitivity implications. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 29, 165-183.
- Tajul Anuar Jamaluddin, 1999. Relict structures and the cut slopes failures in highly weathered rocks – the Malaysian experience. *Proceedings 2nd Asian Symposium on Engineering Geology and the Environment, Bangi Malaysia, 23-25 Sept 1999*, p.7-47-50.
- Tajul Anuar Jamaluddin, 2006. Reactivated ancient slides at the Sungai Kelalong Dam Site, Bintulu Sarawak, East Malaysia. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 49, 5-11.
- Tajul Anuar Jamaluddin, 2006. Faktor manusia dan kegagalan cerun di Malaysia. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, (National Geoscience Conference 2006).
- Tajul Anuar Jamaluddin & Ibrahim Komoo, 2007. Structurally-controlled landslide in Weathered Rock Masses – Typical Examples from Malaysia. *Proc. 2nd Malaysia-Japan Symposium on Geohazards & Geoenvironmental engineering*. 20-22 Nov. 2007, Langkawi, 137-148.
- Tajul Anuar Jamaluddin, 2015. Large Scale Landslides in Mountainous Terrain of Malaysia – Some Case Studies. *International Symposium on Multi-Hazards and Risks 2015*, 23-24 March 2015, UTM Kuala Lumpur, Malaysia. (Invited Paper).
- Tajul Anuar Jamaluddin, 2019. Old Past Landslides – From Unnoticed Geohazards To Fateful Geodisasters. *Workshop and Field Practice For Landslide Assessment (Wfpla2019)*, Kundasang, Sabah, 27 Feb.-2 March, 2019.
- Tajul Anuar Jamaluddin & Lim Choun Sian, 2011. Fatal Landslide at the Children's Hidayah Madrasah Al-Taqwa Orphanage, Hulu Langat. *Bulltein SEADPRI*, 5, 3.
- Tan, B. K., 1996. Geologic factors contributory to landslides – Some case studies. *Proceeding Forum on Geohazards: Landslides & Subsidence*, 22nd Oct. 1996. University Malaya, Kuala Lumpur. Paper 6, 6.1-6.6.
- Tellini, C. & Chelli, A., 2003. Ancient and recent landslide occurrences in the Emilia Apennines (Northern Apennines, Italy). *Proc. Workshop on Geomorphological sensitivity and system response, Camerino- Modena Apennines (Italy)*, July 4th-9th, 2003, 105-114.
- Ter-Stepanian, G., 1967. The use of observations of slope deformation for analysis of mechanism of landslides: Yerevan, (USSR). *Armenian Academy of Sciences, Problems of Geomechanics*, 1, 32-51.

- Turner, A. K. & Schuster, R. L., 1996. Landslides: Investigation and mitigation. Washington, D.C: National Academy Press.
- UNISDR, 2006. Early Warning – From concept to action. The Conclusions of the Third International Conference on Early Warning 27–29 March 2006, Bonn, Germany.
- Van Den Eeckhaut, M., Moeyersons, J., Nyssen, J., Abraha, A., Poesen, J., Haile, Mitiku & Deckers, J., 2009. Spatial patterns of old, deep-seated landslides: a case-study in the northern Ethiopian highlands. *Geomorphology*, 105, 239–252.
- Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Verstraeten, G., Vanacker, V., Moeyersons, J., Nyssen, J., van Beek, L.P.H. & Vandekerckhove, L., 2007. Use of LIDAR-derived images for mapping old landslides under forest. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 754–769. <https://doi.org/10.1002/esp.1417>.
- Van Den Eeckhaut, M., Kerle, N., Poesen, J. & Hervás, J., 2012. Object oriented identification of forested landslides with derivatives of single pulse LiDAR data. *Geomorphology*, 173–174, 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.05.024>.
- Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes. In: Schuster, R.L, and Krizek, R.J. (Eds.), *Special Report 176: Landslides: Analysis and Control*. Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D.C., 11–33.
- Varnes D.J., 1984. *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. United Nations Education, Scientific and Cultural Organization, Paris.
- Varnes, D.J. & the IAEG Commission on Landslides and other Mass-Movements, 1984. *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. The UNESCO Press, Paris. 63 p.
- Wills, C.J. & McCrink, T. P., 2002. Comparing landslide inventories: The map depends on the method. *Environmental & Engineering Geoscience*, 8(4), 279–293.
- WP/WLI - International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, 1990. A suggested method for reporting a landslide. *International Association Engineering Geology Bulletin*, 41, 5–12.
- WP/WLI, 1993. International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, 1993. A suggested method for describing the activity of a landslide. *International Association Engineering Geology Bulletin*, 47, 53–57.
- Zaruba, Q. & Mencl, V., 1982. *Landslides and their control*. 31, 2nd ed. Elsevier Science, Amsterdam. 324 p.
- Zhou, C., Lee, C., Li, J. & Xu, Z., 2002. On the spatial relationship between landslides and causative factors on Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 43, 197–207.
- Zorn, M. & Komac, B., 2011. Applied Landslide Geomorphology - some examples from Slovenia. *Hrvatski geografski glasnik*, 73(2), 5–1.

Manuscript received 24 February 2020
Revised manuscript received 17 April 2020
Manuscript accepted 20 April 2020