

Input geologi untuk Sistem Sokongan Membuat Keputusan dalam pengurusan risiko bencana: Kajian kes Universiti Kebangsaan Malaysia

NURFASHAREENA MUHAMAD, CHOUN-SIAN LIM, MOHAMMAD IMAM HASAN REZA & JOY JACQUELINE PEREIRA*

Southeast Asia Disaster Prevention Research Institute (SEADPRI)

Universiti Kebangsaan Malaysia

*Email address: joy@ukm.my

Abstrak: Kajian ini menerangkan tentang penggunaan maklumat geologi dan penilaian terain dalam Sistem Sokongan Membuat Keputusan (*Decision Support System, DSS*) untuk menangani masalah kejadian tanah runtuh di kampus Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) Bangi, Malaysia. Zon-zon prioriti telah diperolehi daripada analisis sistematik data lapangan dan tindan-lapis peta terain geologi, lokasi tanah runtuh dan pelbagai elemen berisiko dengan menggunakan teknologi Sistem Maklumat Geografi. Antara kriteria-kriteria yang digunakan untuk mengenal pasti zon-zon prioriti tersebut ialah keseriusan impak tanah runtuh, keboleh-tangani melalui langkah pencegahan, keterdesakan dalam keperluan untuk menyelesaikan masalah dan potensi kemerosotan. Berdasarkan hasil yang diperolehi, DSS berasaskan geologi memudahkan Jabatan Pembangunan dan Penyelenggaraan (JPP) UKM dalam perancangan dan membuat keputusan terhadap zon-zon tersebut.

Kata kunci: Sistem Sokongan Membuat Keputusan, tanah runtuh, peta terain geologi, zon prioriti

Geological input for Decision Support System to manage the risk of disasters: A case study of Universiti Kebangsaan Malaysia

Abstract: This paper describes the use of geological information and terrain assessment in a Decision Support System (DSS) to address landslide problems in the campus of Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) in Bangi, Malaysia. Zones of priority were derived from systematic analysis of field data and overlays of the geological terrain map, landslide location, and various elements at-risk, using Geographic Information System (GIS). Among the criteria used to identify the zones of priority are seriousness of landslide impacts, manageability of mitigating measures, urgency in the need to resolve the problem and the potential for further deterioration. Results indicate that this geological-based DSS facilitates the Development and Maintenance Department (Jabatan Pembangunan dan Penyelenggaraan, JPP) of UKM in planning and decision-making with respect to such zones.

Keywords: Decision Support System, landslide, geological terrain mapping, priority zones

PENGENALAN

Kekerapan berlakunya kejadian bencana seringkali berkait rapat dengan kepadatan dan kemajuan serta pertambahan kepadatan populasi sesebuah negara (Coppola, 2007). Bencana biasanya peristiwa katastrofik yang berpunca daripada bahaya yang bersifat semulajadi serta bahaya cetusan manusia yang umumnya bersifat teknologi dan sengaja ataupun antropogenik (Lim, 2004; Coppola, 2007). Kemusnahan akibat daripada bencana sukar untuk diukur malah ia seringkali berbeza-beza mengikut lokasi geografi dan tahap kerentanannya (Ghosh, 2012). Bagi kebanyakan negara Asia, bahaya yang bersifat semulajadi seperti tanah runtuh, banjir, gempa bumi, letusan gunung berapi, ribut dan tsunami menjadi kebimbangan paling utama (Kishore, 2003; Billa *et al.*, 2006; UNISDR, 2006; Djalante & Thomalla, 2012). Jenis-jenis bahaya semulajadi yang dihadapi oleh sesuatu negara juga bergantung kepada keadaan iklim, geografi, geologi dan amalan penggunaan

tanah negara tersebut. Bahaya semulajadi seperti ini seterusnya berganjak menjadi malapetaka ataupun bencana apabila berlakunya kemusnahan harta benda, infrastruktur, kehilangan nyawa, gangguan ekonomi, kemusnahan alam sekitar serta mengganggu fungsi kehidupan (McEntire, 2001; Coppola, 2007; Palliyaguru *et al.*, 2010).

Di samping itu, banyak kajian literatur telah menjelaskan bahawa bencana lebih cenderung berlaku di kawasan bandar malah kesannya adalah lebih signifikan (Bendimerad, 2003; Bull-Kamaga *et al.*, 2003; Wisner *et al.*, 2003; Khailani & Perera, 2013). Dalam Satterthwaite *et al.* (2007), kawasan bandar ditafsirkan sebagai rumah kepada sebahagian besar populasi di dunia, aktiviti-aktiviti ekonomi dan infrastruktur fizikal yang sudah sedia ada berisiko bahaya dan kemudiannya dijangka akan bertambah serta bertukar menjadi bencana. Proses pembangunan kawasan bandar dikenali sebagai perbandaran. Sungguhpun aktiviti-aktiviti perbandaran sebenarnya membawa kemajuan kepada

sesebuah negara, namun, secara tidak langsung, proses ini mengalu-alukan juga kesan negatif terhadap alam sekitar sekiranya tidak ditadbir-urus secara lestari. Kesan-kesan daripada aktiviti perbandaran adalah seperti kepadatan populasi penduduk, aktiviti pembangunan yang tidak terancang, aktiviti-aktiviti antropogenik yang lain dicituskan oleh manusia dan sebagainya sebenarnya merupakan faktor penyumbang kepada bencana. Lantaran, aktiviti-aktiviti ini telah meletakkan bandar sebagai kawasan yang terdedah kepada bencana (*disaster prone area*); dan juga rentan (*vulnerable*) apabila terdapat banyak unsur yang mengalami risiko (*elements at risk*) seperti nyawa manusia (warga kota dan pelawat), harta benda (bangunan dan infrastruktur), dan perkhidmatan (*services*). Justeru itu, kawasan bandar yang telah ditenggelami oleh aktiviti perbandaran yang pesat telah mendedahkan masyarakat tempatan untuk hidup di kawasan yang terdedah pada risiko bencana. Seperti yang sedia tahu, bencana tidak dapat dielakkan, malahan adalah mustahil untuk kerosakan dan kemusnahan akibat daripada bencana untuk pulih sepenuhnya (Billa *et al.*, 2006). Namun, usaha untuk mencegah bencana dapat dilakukan dengan meminimumkan impak dan mengurangkan kerentanannya (*vulnerability*) melalui usaha pengurangan risiko bencana (*disaster risk reduction*). Oleh itu, strategi pengurangan risiko yang berkesan dengan dilaksanakan dengan cara yang betul merupakan unsur penting dalam usaha meminimumkan impak bencana daripada berlaku.

Secara umumnya, Malaysia yang beriklim tropika, mempunyai taburan hujan yang tinggi dan kepadatan populasi yang besar tidak terkecuali daripada berhadapan dengan isu-isu bencana. Kejadian banjir, banjir kilat, tanah runtuh dan episod jerebu yang sangat teruk merupakan antara bahaya semulajadi yang biasa berlaku di negara ini (Mohamed Shalluf & Ahmadun, 2006). Banjir di Malaysia seringkali dikaitkan dengan kesan daripada musim tengkujuh yang menyebabkan penurunan hujan dalam jumlah yang banyak yang seterusnya menjadi pencetus kepada berlakunya bahaya semulajadi tersebut. Sebaliknya, tanah runtuh pula biasanya ditemui dalam bentuk kegagalan cerun di cerun buatan manusia, terutama sekali yang terlibat dengan aktiviti tarahan dan penambakan yang sering berlaku sepanjang kawasan lebuhraya, perumahan dan kawasan bandar (Ibrahim Komoo *et al.*, 2011). Dapat disimpulkan di sini bahawa, kedua-dua peristiwa ini yakni banjir dan tanah runtuh telah mengancam nyawa manusia, harta-benda, alam sekitar, dan sebagainya. Berikutan dengan peningkatan kekerapan berlakunya bencana sejak akhir-akhir ini, usaha mengurangkan risiko bencana merupakan satu pendekatan yang relevan agar kesan-kesannya dapat dibendung. Lebih penting lagi, mengetahui bagaimana untuk melaksanakan strategi pengurangan risiko dan kerentanan bencana dengan lebih berkesan merupakan salah satu tugas yang agak rumit. Jelas sekali di negara ini, segala koordinasi yang berkaitan dengan hal-hal bencana lazimnya diuruskan oleh aktor-aktor utama dalam setiap peringkat iaitu persekutuan, negeri dan daerah (Ibrahim Komoo *et al.*, 2011). Selain itu, pihak-pihak berkepentingan (*stakeholders*) utama

(terutama sekali para pembuat keputusan atau *decision-makers*) yang biasanya datang dari agensi-agensi kerajaan memainkan peranan penting dalam menangani isu ini. Pihak-pihak ini memerlukan satu medium yang berupaya menyokong serta menyediakan mereka input-input yang boleh dipercayai, berguna dan berkesan dalam proses membuat keputusan (*decision-making process*) untuk mengurangkan risiko bencana. Oleh yang demikian, usaha mewujudkan satu rangka kerja konsep yang dikenali sebagai Sistem Sokongan Membuat Keputusan (*Decision Support System, DSS*) merupakan satu pendekatan bijak yang sejajar dengan keperluannya berdasarkan realiti masa kini. DSS merupakan satu sistem sokongan yang mempunyai keupayaan untuk membantu para pembuat keputusan ke arah membuat keputusan dengan lebih baik (Pick, 2008) dalam mengurangkan risiko bencana dan seterusnya mempengaruhi susun-atur strategi pengurangan risiko yang lebih sistematik dan berkesan.

Kertas ini mengemukakan satu kajian kes bagaimana aplikasi maklumat berorientasi geologi dimanfaatkan sebagai alat sokongan untuk perancangan pengurangan risiko bencana untuk satu bandar-mini, iaitu sebuah kampus universiti. Kajian ini akan menerangkan penggunaan data geologi dan analisis terain dalam sistem sokongan membuat keputusan atau DSS bagi konteks pengurusan pembangunan kawasan bercerun dan masalah tanah runtuh di dalam kawasan lingkungan kampus Bangi, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM). Justeru, bahagian berikut kertas ini secara umum akan membincangkan tentang peta terrain dan juga DSS. Diikuti dengan penjelasan tentang kaedah serta latarbelakang kawasan kajian, hasil dan perbincangan serta akhir sekali kesimpulan.

Peta Terrain Geologi

Untuk pengurusan dan pengurangan risiko bencana terutamanya dalam bencana tanah runtuh, pihak pengurusan atau khasnya perancang bandar memerlukan input maklumat penting seperti geologi, topografi, bentuk muka bumi, keadaan cerun dan zon berpotensi bahaya dan kesesuaian pembangunan. Maklumat ini juga perlu dipakejkan dalam bentuk yang mudah difahami (Lim *et al.*, 2000) seperti peta dan kod atau pengelasan yang ringkas tetapi bermaklumat untuk perancang atau pembuat keputusan membuat pertimbangan dan keputusan secara tepat. Peta pengelasan terain dan peta-peta tematik yang lain seperti bentuk muka bumi, hakisan, kekangan fizikal, kesesuaian pembangunan dan sebagainya dapat berfungsi sebagai alat ataupun perkakas untuk mencapai tujuan berkenaan. Peta terrain geologi (*geological terrain map*) menggunakan pendekatan penilaian terrain merupakan salah satu maklumat penting yang dapat membantu dalam proses membuat keputusan untuk pengurangan risiko bencana. Secara umum, peta ini merupakan sejenis peta yang mengkategorikan, menerangkan dan menggambarkan ciri-ciri dan atribut bahan-bahan surficial, rupabumi (*landforms*), dan proses geologi dalam landskap semulajadi (Forest Practice Code, 1999). Aplikasi sistem penilaian terrain ini telah digunakan

oleh beberapa negara untuk tujuan tertentu seperti Skema Amerika (*American Scheme*) digunakan untuk pengurusan dan hakisan tanah (Waynell, 1978), Sistem British (*British System*) untuk geologi dan rupabumi (Lawrance, 1972), kaedah Kanada (*Canadian method*) berkaitan dengan litupan tumbuhan (Vold, 1981), dan Hong Kong pula menghasilkan peta terrain digunakan untuk perancangan pembangunan yang betul dan selamat serta banyak lagi. Di Malaysia, peta terrain dihasilkan oleh Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia merupakan versi yang telah diubahsuai daripada model Hong Kong (Zakaria Mohamad & Chow, 2003).

Peta terrain geologi Malaysia dihasilkan oleh Jabatan Mineral dan Geosains mengikut kaedah dalam Zakaria Mohamad & Chow (2003) dan Chow & Zakaria Mohamad (2002) digunakan untuk tujuan menilai morfologi bumi, keadaan hakisan permukaan, kesesuaian pembinaan dan kekangan fizikal. Kelebihan peta ini ialah peta-peta ini dihasilkan dalam Sistem Maklumat Geografi (*Geographic Information System, GIS*) mengikut tema-tema peta yang lazim diperlukan oleh perancang bandar. Format peta dalam GIS juga membolehkan tindan-lapis maklumat ini dengan maklumat perancangan lain seperti kawasan cadangan tapak dengan mudah. Dalam Zakaria Mohamad & Chow (2003), Peta Terrain Geologi mempertimbangkan empat atribut utama dalam pengelasan terrain iaitu sudut cerun; terrain dan morfologi; fitur hakisan dan ketidakstabilan pada cerun; dan aktiviti atau sejarah cerun (Chow & Zakaria Mohamad, 2002). Peta Terrain Geologi ini memberikan lima peta tematik utama iaitu:

Peta Rupabumi - Peta ini meringkaskan keadaan bentuk muka bumi am iaitu terrain dan morfologi cerun dan keadaan sudut cerun, untuk tujuan maklumat rupabumi am dan boleh digunakan oleh ahli teknikal dan bukan teknikal.

Peta Hakisan – Peta ini menunjukkan keadaan permukaan fitur hakisan dan ketidakstabilan pada cerun yang wujud. Peta ini boleh digunakan oleh ahli teknikal dan bukan teknikal untuk melihat tahap hakisan dan sebarang ketidakstabilan pernah wujud untuk kegunaan perancangan dan kejuruteraan.

Peta Kekangan Fizikal – Peta ini merupakan interpretasi kekangan atau kesesuaian fizikal sumber bumi untuk jenis pembangunan berdasarkan keadaan terrain untuk perancangan dan pembangunan kejuruteraan. Peta ini juga sesuai digunakan oleh ahli teknikal dan bukan teknikal.

Peta Geologi Kejuruteraan – Peta ini menggunakan atribut pengelasan terrain dengan gabungan data geologi lain seperti peta geologi, peta bencana geologi dan lain-lain. Peta ini menggambarkan taburan bahan-bahan geologi berdasarkan pencirikan sifat kejuruteraan mereka. Peta ini sesuai digunakan untuk ahli teknikal yang memerlukan maklumat geoteknikal untuk perancangan strategik dan kejuruteraan.

Peta Kesesuaian Pembinaan – Peta ini menggunakan atribut pengelasan terrain untuk menggambarkan pembatasan atau rintangan geoteknikal dan kesesuaian kegunaan pembinaan dalam bentuk empat klasifikasi: Kelas 1 dan Kelas 2, ialah masing-masing limitasi geoteknikal rendah

kepada sederhana; Kelas 3 ialah pembatasan geoteknikal tinggi; dan Kelas 4 ialah pembatasan geoteknikal yang ekstrim. Pembatasan geoteknikal rendah menggambarkan kesesuaian untuk pembangunan tanah dan kemungkinan masalah geoteknikal yang rendah, manakala limitasi geoteknikal yang tinggi hingga ekstrim menggambarkan kesesuaian untuk pembangunan tanah, kemungkinan untuk menghadapi masalah geoteknikal amat tinggi dan kos pembangunan juga akan bertambah. Sebarang kerja pembangunan pada Kelas 3 dan Kelas 4 adalah amnya kurang sesuai dan tidak sesuai, dan juga diwajibkan penyiataan tapak yang intensif

Dalam konteks kajian ini, kompilasi input geologi penting dalam peta terrain akan diintegrasikan dalam DSS supaya dapat membantu pembuat keputusan, perancang bandar dan pihak-pihak berkepentingan menggunakan output yang berfungsi sebagai alat sokongan untuk mencegah dan mengurangkan risiko bencana serta kerentanannya dengan lebih teratur dan sistematik.

Sistem Sokongan Membuat Keputusan

Sistem Sokongan Membuat Keputusan (*Decision Support System, DSS*) ditakrifkan secara meluas sebagai sistem interaktif yang berasaskan komputer, menggunakan komunikasi teknologi, data, pengetahuan dan model, bagi menyediakan maklumat untuk membantu para pembuat keputusan menyelesaikan masalah separa berstruktur dan tidak berstruktur (Sprague & Watson, 1989; Gheorge & Vamanu, 2004; Power & Sharda, 2009; Alter, 2002). Dalam usaha untuk mencapai prestasi *DSS* yang tinggi dan berkesan, terdapat beberapa syarat yang harus diambil kira semasa membangunkan sistem ini (Sprague & Watson, 1989). Ini termasuklah:

DSS seharusnya menyediakan sokongan kepada para pembuat keputusan di samping memberi penekanan terhadap keputusan-keputusan separa struktur dan tidak berstruktur.

DSS harus memberikan sokongan dalam membuat keputusan kepada semua peringkat pengurus, dan membantu dalam integrasi antara mana-mana peringkat pada masa yang bersesuaian.

DSS harus menyokong keputusan yang saling bergantung dan tidak bergantung

DSS harus menyokong semua fasa proses membuat keputusan tetapi tidak bergantung kepada mana-mana satu.

DSS haruslah mudah dan mudah difahami.

Secara amnya, *DSS* adalah sistem sampingan yang digunakan untuk menyokong keputusan pengurusan dengan bantuan pelbagai teknologi geospasial moden seperti teknologi penderiaan jauh (*Remote Sensing*), Sistem Maklumat Geografi (*GIS*), kartografi, pengukuran dan pemetaan dan fotogrametri (Billa *et al.*, 2004; Chang, 2012). Namun, dalam kajian ini, teknologi *GIS* akan diberikan keutamaan. *GIS* akan berfungsi sebagai landasan kepada proses *DSS* (Billa *et al.*, 2006). Selain daripada itu, *DSS* bukanlah bertujuan untuk menggantikan kemahiran

para pembuat keputusan malah ia bukan juga 'automated decision-making' (Power & Sharda, 2009). Namun, dalam kes-kes tertentu, membuat sesuatu keputusan adalah sukar dan kompleks tanpa bantuan yang berasaskan komputer (Pick, 2008) seperti DSS terutamanya dalam isu-isu berkenaan bencana.

Umumnya, DSS telah diguna-pakai di luar negara seperti Thailand (Moe & Pathnanarakul, 2006), Caramanico Itali (Muthu & Petrou, 2007), Bandar Quetta (Nazir *et al.*, 2006) dan Taiwan (Liu *et al.*, 2008) dalam menangani masalah-masalah pengurangan risiko ataupun pengurusan bencana. Namun, di Malaysia, penerbitan literatur mengenai penyelidikan sebegini masih lagi terhad. Dalam konteks kajian ini, DSS berupaya menguruskan pengurangan risiko bencana dengan lebih terurus dan sistematik. Sementara itu, pelaksanaan DSS tanpa memahami faedah yang bakal diperolehi tidak akan mencapai matlamat yang utama dalam menyumbang kepada prestasi sesebuah organisasi (Power & Sharda, 2009). Manfaat yang akan didapati melalui DSS dapat membantu dan menyokong para pembuat keputusan untuk mendapatkan keputusan yang lebih baik dan tepat bagi merangka strategi tindakan seterusnya supaya lebih berkesan dan jika ia tidak dapat memberikan keputusan yang muktamad, kualiti proses dalam membuat keputusan dapat diperbaiki menjadi lebih baik ataupun kedua-duanya sekali. Produk yang terhasil melalui DSS akan berfungsi sebagai alat atau perkakas penting dalam membuat keputusan. Justeru, keberkesanan DSS dapat dinilai melalui output yang bakal hasil.

Matlamat utama DSS dibangunkan dalam kajian ini adalah untuk menyokong dan menyediakan keputusan yang lebih baik dalam usaha pengurangan risiko bencana kepada para pembuat keputusan. Keputusan yang lebih baik dalam erti kata, sebaik sahaja ia dilaksanakan, ia memberi kesan yang signifikan seperti risiko bencana dapat dikurangkan, kerentanan diminimumkan, pengurangan kos mengendalikan bencana, peningkatan tahap kesedaran dan pemahaman semua pihak berkepentingan, peranan

institusi dan agensi-agensi yang mengendalikan bencana lebih cekap dan sebagainya. Sebaliknya, jika DSS tidak membawa kepada keputusan yang lebih baik, ia mungkin dapat mempertingkatkan kualiti dalam proses membuat keputusan (Pick, 2008). Terdapat pelbagai cara yang jelas dilihat dengan apabila kualiti proses membuat keputusan diperbaiki. Antaranya; i) output yang terhasil mungkin sama, namun, proses yang dipandu DSS mungkin lebih cepat dan menjimatkan kos, ii) proses yang diperbaiki mungkin lebih memberi gambaran pemahaman terperinci terhadap apakah punca risiko dan kerentanan bencana meningkat dan sebagainya. Sehubungan dengan itu, dalam kajian ini, DSS dapat dilihat sebagai satu rangka kerja konsep yang bertindak sebagai penyelesaian masalah dalam mengurangkan risiko bencana dengan cara membantu, menyokong dan memandu para pembuat keputusan dan pihak berkepentingan dalam membuat keputusan. Lantaran, strategi tindakan yang dirancang seperti langkah-langkah mitigasi berstruktur yang diambil selepas ini akan lebih efektif.

LATARBELAKANG KAWASAN KAJIAN

Sejak November 2012, berikutan rentetan hujan lebat yang luar biasa (data stesen cuaca JMM 2013) di kawasan Bangi, sebanyak 16 lokasi cerun di dalam kampus Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) telah mengalami kegagalan. Rajah 1 menunjukkan beberapa gambar lokasi kejadian tanah runtuh di UKM. Tanah runtuh yang berlaku pada masa ini menyebabkan kerosakan harta benda dan infrastruktur serta menimbulkan gangguan dan ketidakselasaan kepada warga universiti. Walaupun tiada nyawa yang terkorban tetapi pihak pengurusan telah menggerakkan langkah proaktif dalam pengurusan risiko bencana secara bersepadu. Kebanyakan cerun telah dipotong sejak tahun akhir 1970-an dan 1980-an, dan UKM mempraktikkan pemeliharaan estetik landskap tabii dengan tidak menggalakkan pembinaan benteng atau struktur mitigasi buatan yang extensif.

Geologi dan geomorfologi

UKM Bangi terletak di pertemuan antara Sungai Langat dan Sungai Semenyih. Ia bertemu pada lingkungan koordinat 101.75-101.79°T dan 2.90-2.94°U, kira-kira 2 km dari pekan Bandar Baru Bangi dan 35 km dari Kuala Lumpur (Rajah 2). Geomorfologi kampus terdiri daripada perbukitan beralun rendah, ketinggian kawasan berjulat 18 m hingga 110 m, saluran utama di sektor barat hingga utara mengalir ke Sungai Langat manakala saluran utama di sektor selatan mengalir ke Sungai Semenyih. Geologi kawasan Bangi termasuk UKM terdiri daripada batuan sedimen atau metasedimen klastik yang digolongkan dalam Formasi Kenny Hill. Istilah metasedimen juga digunakan untuk menjelaskan batuan sedimen yang mengalami metamorfisme rendah. Formasi Kenny Hill terbentuk terdiri daripada batuan utama iaitu filit, syis, kuarzit, metagrewaik dan telerang dan kekanta kuarza adalah lazim. Batuan utama yang lazim tersingkap di kawasan UKM ialah batuan filit dan batu pasir hingga kuarzit. Batuan di permukaan dan cerun terdedah kebanyakannya telah mengalami perluluhawa



Rajah 1: Lokasi kejadian tanah runtuh, a) Berhadapan Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan, b) Berdekatan dengan rumah haiwan, c) Berhadapan Puri Pujangga, d) Di antara bangunan Fakulti Teknologi Maklumat.

tinggi kepada lempung berpasir, lodak berpasir atau pasir berlodak. Lapisan tanah aluvium sungai biasanya dijumpai di sepanjang koridor saliran terutamanya kawasan rendah yang elevasi kurang daripada 20 m.

Dalam Stauffer (1973) dan Abdulah Sani (1976; 1985), batuan Formasi Kenny Hill berupa peralihan batu pasir, syal, filit, batu lumpur, lodak, sabak, batu pasir masif sedikit rijang. Batuan ini menunjukkan kesan bekar dan isian telerang kuarza dan beberapa sesar juga memotong. Telerang kuarza memotong peralihan dan kekanta kuarza yang selari dengan peralihan. Litologi utama terdiri daripada selang lapis syal, batu lodak dan batu pasir. Lapisan batu lodak dan batu pasir biasanya lebih dominan dari segi ketebalan berbanding dengan syal. Syal dan batu lodak ini menunjukkan sifat sebagai filit Formasi Kenny Hill dikatakan termendap pada sekitaran marin yang berdekatan dengan jasad terhakis yang merupakan sedimen pada beza-tinggi (*relief*) rendah atau sederhana. Batuan formasi ini menganjur hingga ke kawasan Sepang. Formasi ini telah sedikit termetamorf kepada metasedimen jenis meta-argilit dan meta-arenit. Singkapan perbukitan rendah di Bukit Unggul (Tunggul), UKM (kampus Bangi), Bangi Lama, Bukit Tunku (Kenny Hill), Bukit Gasing, Bukit Pantai, Bukit Damansara dan Bukit Canggang. Sedikit pebel dijumpai dalam lapisan batu pasir. Peralihan batu pasir dan syal membentuk kekanta. Batu pasir masif dalam selang lapis dijumpai terutamanya di kawasan Sepang.

Penilaian cerun UKM

Pemetaan terawal mengenai kegagalan cerun di sekitar kawasan kajian oleh Ibrahim Komoo (1984; 1987) iaitu cerapan dilakukan sejak kampus ini mula beroperasi pada tahun 1977 sehingga 1984 menunjukkan terdapat 19 lokasi cerun di UKM telah mengalami kegagalan, di mana terdapat 3 kegagalan bersaiz agak besar (isipadu jasad gagal melebihi 1000 meter padu, kebanyakan antara antara 1000-1600), 1 kegagalan bersaiz sederhana besar (isipadu jasad gagal antara 500-1000 meter padu), dan 15 kegagalan kecil (isipadu jasad yang gagal antara 0-500, kebanyakan tidak melebihi 100 meter padu). Hampir kesemua cerun yang gagal ini bersudut antara 30°- 45° dan telah terluluhawa tinggi sehingga gred V dan VI, malahan sesetengah potongan cerun juga mendedahkan batuan gred III dan IV.

Tambahan kepada 16 lokasi tanah runtuh yang berlaku pada tahun 2012, mengikut rekod yang dapat dikumpul ke belakang hingga tahun 2009 terdapat 6 kejadian tanah runtuh pernah berlaku diantara tahun 2009 hingga 2011. Akan tetapi, mungkin disebabkan perbezaan faktor pendorong dan pencetus, pada penghujung tahun 2012 menyebabkan lebih banyak cerun yang gagal. Kejadian kali ini juga telah mencetuskan kebimbangan banyak pihak kerana berlaku berhampiran dengan kawasan kediaman pelajar, bangunan-bangunan akademik dan infrastruktur penting UKM.

KAEDAH KAJIAN

Kaedah dalam kajian ini dilaksanakan melalui penilaian cerun untuk pengurangan risiko bencana dalam UKM.

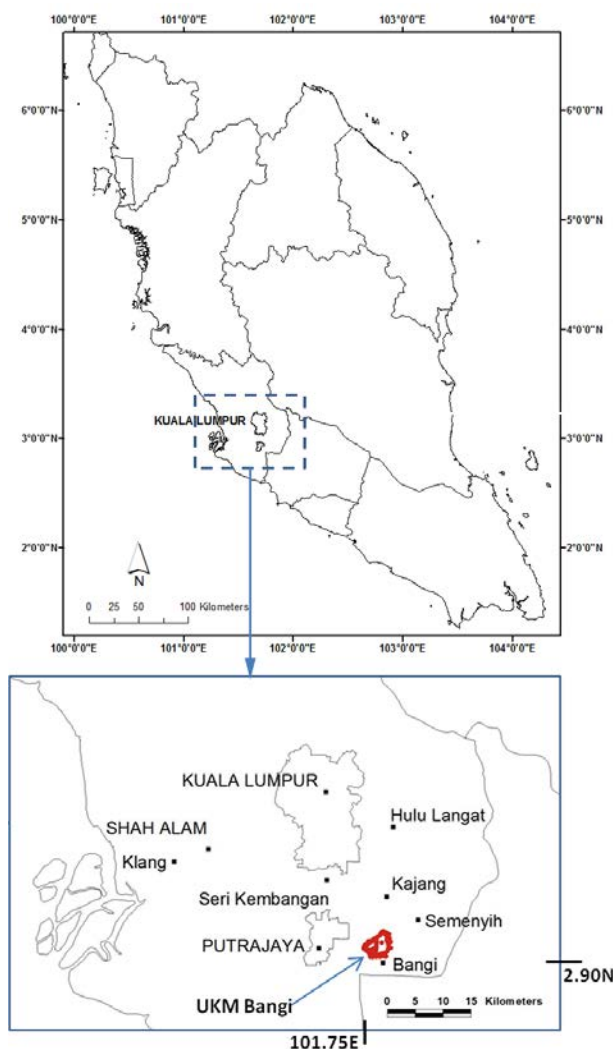
Penilaian cerun dalam kajian kes ini melibatkan empat peringkat, iaitu; (a) Analisis terain geologi, (b) Kerja lapangan, (c) Penilaian bencana, dan (d) Penentuan zon prioriti bencana.

Analisis terain geologi

Pemetaan terain geologi kawasan UKM telah dijalankan dan petanya dihasilkan oleh Jabatan Mineral dan Geosains (JMG) Selangor dalam bentuk GIS menggunakan perisian ESRI ArcGIS. Peta tersebut telah diperolehi secara ehsan daripada JMG Selangor atas dasar memorandum kerjasama dengan Institut Kajian Bencana Asia Tenggara (SEADPRI-UKM). Peta Terain Geologi ini (JMG 2012) diperolehi dari pihak JMG Selangor pada 12 Disember 2012. Kelas-kelas terain dalam kawasan UKM dikenalpasti secara umum melalui peta ini (Attribut serta jenis-jenis kelas telah diterangkan di bahagian pengenalan).

Kerja Lapangan

Kerja lapangan awalan melibatkan pengesahan umum jenis geologi, geomorfologi dan attribut dalam peta terain geologi (JMG 2012) yang diperolehi dan ditentusahkan



Rajah 2: Peta lokasi Universiti Kebangsaan Malaysia, kampus Bangi.

dengan keadaan di lapangan. Survei cerun sepiintas lalu juga dijalankan untuk mengenalpasti kewujudan cerun-cerun yang pernah gagal dan pemetaan terdahulu oleh Ibrahim Komoo (1984; 1987). Kejadian serta lokasi tanah runtuh dalam UKM juga telah dikenalpasti dan dikumpulkan. Pemetaan di tapak tanah runtuh dijalankan untuk 16 lokasi tanah runtuh yang berlaku pada tahun 2012 melibatkan mengenalpasti kedudukan tanah runtuh, morfologi cerun, bahan geologi dan mengenalpasti faktor penyebab kegagalan cerun. Kedudukan setiap lokasi tanah runtuh diplotkan ke dalam GIS. Maklumat di lapangan seperti dalam Chow & Zakaria Mohamad (2002) iaitu sudut cerun; terain dan morfologi; fitur hakisan dan ketidakstabilan pada cerun; dan aktiviti atau sejarah cerun juga dicerap. Selain itu, beberapa kawasan *hotspot* juga telah dikenalpasti oleh pihak pengurusan universiti dan Jabatan Pembangunan dan Penyelenggaraan (JPP) UKM sebagai kawasan kritikal dan memerlukan perhatian segera kerana kepentingan dan bilangan pengguna (nyawa) yang menggunakan kawasan tersebut amat banyak.

Kerja lapangan di setiap tapak tanah runtuh juga diluaskan ke kawasan sekitar yang berdekatan. Pemetaan unsur binaan seperti bangunan dan infrastruktur dan utiliti sekitar tempat kejadian tanah runtuh juga dilakukan. Ini juga mengambilkira binaan yang telah mengalami kerosakan impak tanah runtuh dan potensi terdedah kepada ancaman bahaya jika aktiviti tanah runtuh merebak secara progresif atau retrogresif.

Penilaian bencana

Penilaian bencana tanah runtuh merupakan penilaian tahap bahaya (*hazard*) tanah runtuh, bergantung kepada faktor fizikal/alam sekitar yang mengawal kestabilan cerun seperti jenis geologi, terain, cerun, gangguan kepada cerun dan kewujudan sejarah kejadian ketidakstabilan tanah runtuh. Kajian ini menggunakan peta geologi terain (JMG 2012) yang mempertimbangkan kesesuaian pembinaan berdasarkan atribut-atribut geologi dan terain penilaian keadaan cerun di UKM. Maklumat lokasi kejadian tanah runtuh yang dikumpul melalui data lapangan ditindanlapis bersama-sama dengan peta tersebut.

Penentuan zon prioriti bencana

Pengurusan risiko bencana dalam konteks perancangan gunatanah dan sokongan pembuat keputusan mempunyai perkaitan yang rapat. Persoalan utama dalam pengurusan risiko oleh para pembuat dasar dan pembuat keputusan ialah status semasa dan kawasan prioriti yang perlu didahulukan untuk tindakan mitigasi jangka masa segera dan langkah kedua untuk tindakan jangka masa sederhana dan pengurangan risiko jangka panjang. Penilaian risiko kajian ini menerokai percubaan untuk membantu para pembuat keputusan untuk menterjemah peta terain geologi JMG. Analisis tambahan dibuat dengan mengezonkan kawasan yang berisiko dan berkepentingan utama untuk membolehkan pembuat dasar mengambil tindakan. Dua pertimbangan utama iaitu prioriti dan risiko perlu diambilkira dalam kajian ini.

Magnitud prioriti atau keutamaan bergantung kepada kriteria Model SMUG (Natural Disasters Organisation, 1991; FEMA, 2011) dalam mengenalpasti dan mengutamakan risiko yang berkaitan dengan bencana berpunca dari bahaya semulajadi dan cetusan manusia seperti teknologi. Model SMUG merupakan singkatan kepada keseriusan (*seriousness*), keboleh-tangani (*manageability*), keterdesakan (*urgency*) dan rebakan (*growth*) yang telah dicipta oleh 'Australia Natural Disaster Organisation' pada awal tahun 1990 dan digunapakai di negara seperti New Zealand (Cunningham, 2006), Cape Town (Disaster Management Framework, 2007) dan beberapa sektor lain seperti kesihatan umum (World Health Organisation, 1998), pengurusan kecemasan (Natural Disasters Organisation, 1992) dan sebagainya. Zon prioriti untuk kajian ini ditentukan melalui pertimbangan empat kriteria SMUG iaitu keseriusan, keboleh-tangani, keterdesakan, dan rebakan dan termasuk juga risiko. Risiko merupakan satu fungsi gabungan kemungkinan sesuatu bencana dan konsekuen suatu kejadian (UNISDR, 2007). Geoscience Australia (2012) mentakrifkan risiko sebagai ($Risk = Hazard \times Elements \text{ at Risk} \times Vulnerability$). Dalam kata lain, risiko juga ialah satu fungsi gabungan kemungkinan suatu bencana, unsur yang menghadapi risiko dan kerentanan, iaitu **Risiko = Bencana x Unsur Mengalami Risiko x Kerentanan**. Keseriusan merupakan impak relatif sesuatu bencana yang diukur berdasarkan nilai matawang dan nyawa manusia manakala keboleh-tangani adalah kebolehan untuk komuniti berbuat sesuatu untuk mengurangkan kesan bencana. Keterdesakan membawa maksud betapa segera sesuatu perlu dilaksanakan serta rebakan ialah kemungkinan untuk menjadi lebih buruk jika tiada tindakan diambil.

Peta zon prioriti dihasilkan melalui analisis peta tindanlapis peta-peta berikut:

Peta terain geologi JMG – Kelas kesesuaian pembinaan.

Peta lokasi tanah runtuh untuk semua tanah runtuh sejak tahun 2009. Tanah runtuh yang bukan cetusan geologi tidak diambilkira dalam pengiraan. Tanah runtuh yang bersaiz lebih besar, adanya rekod perulangan kejadian pada tapak sama atau menunjukkan potensi merebak untuk merosak bangunan atau utiliti lain juga diberi penarafan lebih tinggi.

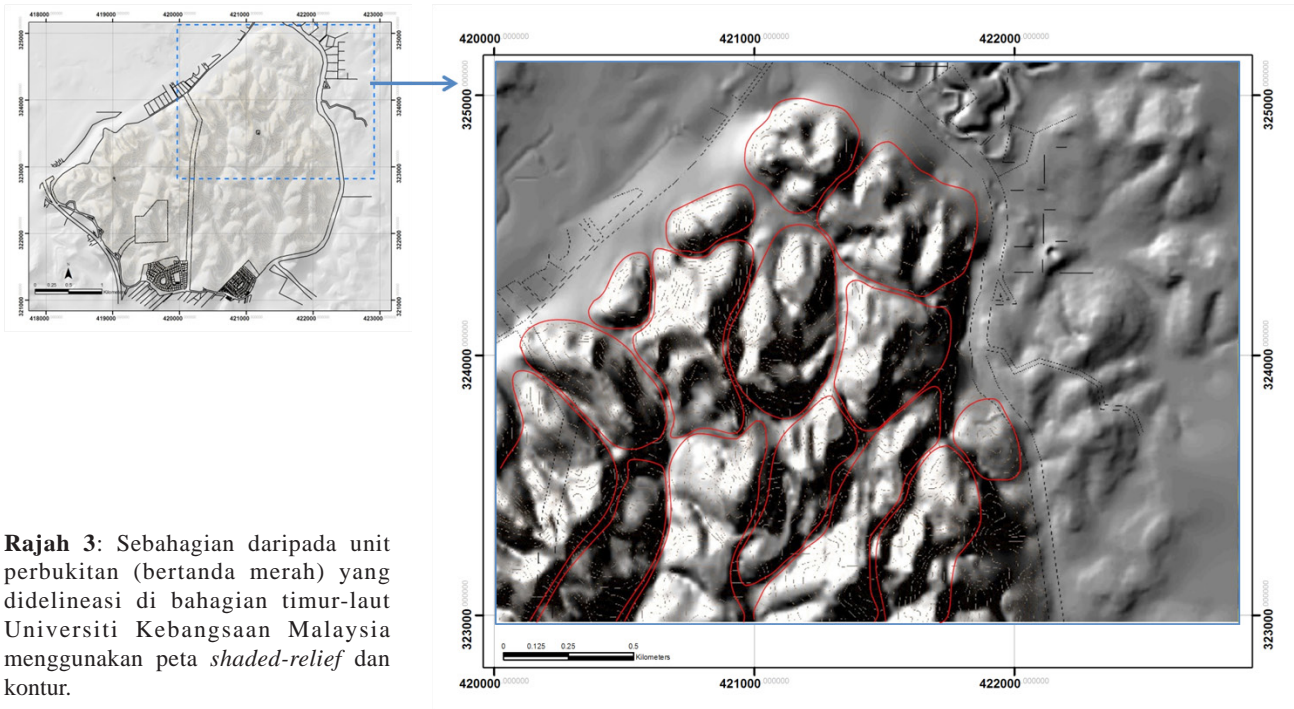
Peta unit perbukitan yang didelineasi daripada peta *shaded-relief*. Peta *shaded-relief* yang dijana dengan bantuan peta kontur, sempadan bawah setiap bukit dikenalpasti (Rajah 3). Proses ini membahagikan kawasan kepada unit pemetaan lebih kecil yang digelar unit terain atau wilayah terain (van Zuidam, 1985; Way, 1978) di mana geomorfologi permukaan bumi dibahagikan kepada unit-unit geomorfologi permukaan bumi lebih kecil mengikut jasad timbul, dalam kes ini sempadan setiap bukit kecil di dalam UKM.

Peta tapak bangunan dan Jalan Utama, peta ini digunakan sebagai data Unsur Mengalami Risiko (*Elements at Risk*) yang bermakna bangunan-bangunan dan jalan raya ini mungkin rosak akibat bencana.

Atribut tambahan kepada data tapak bangunan dan diberi

Jadual 1: Lokasi tanah runtuh di Universiti Kebangsaan Malaysia 2009-2012.

Tahun	Lokasi	Tinggi Cerun (m)	Sudut Cerun (°)	Saiz runtuhan (tinggi, m)	Sejarah / tanda-tanda pernah berlaku	Catatan
2009	Runtuhan cerun di Fak. Sains Teknologi menuju ke Kolej Pendeta Za'aba		*45	7.0	n.a	
	Runtuhan cerun berhampiran tempat letak kenderaan di PUSANIKA		*45	7.5	n.a	
	Runtuhan cerun berhampiran tangki air lingkungan 2, Fakulti Pendidikan		*45	6.0	n.a	
	Runtuhan cerun berhampiran tangki air lingkungan 2, Fakulti Pendidikan		*45	6.0	n.a	
2010	Runtuhan cerun di Jalan Satria (berhampiran dengan Lereng bukit Permata Pintar)		*45	7.5	n.a	
2011	Runtuhan cerun di tepi Jalan Wira berhampiran dengan Kolej Keris Mas		*35	5.0	n.a	
2012	Tempat letak kereta bersebelahan dengan DECTAR	17.0	20	5.0	tiada	**Cetusan pokok tumbang ditiup angin
	Runtuhan cerun berhadapan dengan Fak. Sains Sosial & Kemanusiaan	28.2	42	28.2	ya	
	Runtuhan cerun berhampiran dengan Pakar runding UKM	10.5	30	10.5	ya	**Hakisan air
	Runtuhan cerun di Jalan Gelanggang	37.5	48	30.0	ya	
	Runtuhan cerun di belakang laluan Fak. Pendidikan	35.2	58	35.2	ya	
	Runtuhan cerun di selekoh Kolej Pendeta Za'aba	24.5	52	24.5	ya	
	Runtuhan cerun di belakang Bangunan Penyelidikan	21.6	43	21.6	ya	
	Runtuhan cerun di Fak. Teknologi Sains & Maklumat	3.0	90	3.0	tiada	**Kerosakkan benteng
	Runtuhan cerun di belakang Bangunan Elektron Mikroskopi	14.1	48	14.1	ya	
	Runtuhan cerun di belakang Bangunan Nuklear	30.0	30	20.0	tiada	
	Runtuhan cerun di Kolej Ungku Omar	10.0	35	10.0	ya	
	Runtuhan cerun di belakang loji pandu menuju ke Fak. Sains & Tek.	24.2	32	5.0	tiada	**Kerosakkan benteng
	Runtuhan cerun di Kolej Aminuddin Baki	51.2	50	15.0	tiada	
	Runtuhan cerun antara Bangunan Wawasan dan Dewan Gemilang	15.2	34	3.0	tiada	
	Runtuhan cerun di EiMAS	35.7	60	35.7	ya	
	Runtuhan cerun di Kolej Pendeta Za'aba	30.0	40	10.0	ya	
*- anggaran daripada peta, ** - ditafsirkan cetusan bukan faktor geologi /geomorfologi tabii, n.a – tiada maklumat						



Rajah 3: Sebahagian daripada unit perbukitan (bertanda merah) yang didelineasi di bahagian timur-laut Universiti Kebangsaan Malaysia menggunakan peta *shaded-relief* dan kontur.

Jadual 2: Kelas terain bagi setiap lokasi runtuh cerun di Universiti Kebangsaan Malaysia.

Kelas Terain	Lokasi
I	Runtuhan cerun di Jalan Gelanggang
	Runtuhan cerun antara Bangunan Wawasan dan Dewan Gemilang
II	Runtuhan cerun berhadapan dengan Fak. Sains Sosial & Kemanusiaan
	Runtuhan cerun di belakang bangunan Elektron Mikroskopi
	Runtuhan cerun di belakang Bangunan Nuklear
	Runtuhan cerun di Kolej Ungku Omar
	Runtuhan cerun di tepi Jalan Wira berhampiran dengan Kolej Keris Mas
	Runtuhan cerun berhampiran tempat letak kenderaan di PUSANIKA
III	Runtuhan cerun di belakang laluan Fak. Pendidikan
	Runtuhan cerun di belakang Bangunan Penyelidikan
	Runtuhan cerun di belakang loji pandu menuju ke Fak. Sains & Tek.
	Runtuhan cerun di Kolej Aminuddin Baki
	Runtuhan cerun di Kolej Pendeta Za'aba
	Runtuhan cerun di Fak. Sains Teknologi menuju ke Kolej Pendeta Za'aba
IV	Runtuhan cerun di selekoh Kolej Pendeta Za'aba
	Runtuhan cerun di EiMAS
	Runtuhan cerun di Jalan Satria (berhampiran dengan Lereng bukit Permata Pintar)
	Runtuhan cerun berhampiran tangki air lingkungan 2, Fakulti Pendidikan

penarafan atau ranking lebih tinggi bergantung kepada bilangan orang yang menduduki bangunan, status atau nilai utiliti/aset/peralatan yang mahal dan kewujudan bahan berbahaya (kimia/radioaktif).
 Penilaian dan cerapan lapangan mengenai keadaan cerun, fitur hakisan dan sejarah tanah runtuh lama.

HASIL DAN PERBINCANGAN

Kejadian bencana yang berlaku dalam UKM telah mencetuskan kebimbangan ramai pihak di mana bencana yang amat jarang kedengaran berlaku di UKM ini berlaku sekaligus sehingga 16 kejadian dalam masa sebulan. Rajah 4 menunjukkan ilustrasi peta lokasi kejadian tanah runtuh manakala Jadual 1 menyenaraikan lokasi kejadian dari tahun 2009 hingga 2012. Seterusnya maklumat lokasi kejadian tanah runtuh bersama kedudukan binaan dalam UKM seperti tapak bangunan dan jalanraya yang dikumpul melalui data lapangan telah ditindan-lapis bersama-sama dengan Peta terain geologi (JMG 2012). Huraian klasifikasi terain telah diterangkan di bahagian pengenalan. Jadual 2 menunjukkan kelas terain bagi setiap kawasan tanah runtuh di UKM. Didapati bagi kelas terain I, terdapat dua lokasi tanah runtuh manakala kelas terain II mempunyai enam lokasi tanah runtuh. Untuk kelas terain III dan IV, masing-masing mempunyai enam dan empat lokasi tanah runtuh. Jadual ini tidak termasuk sekali kejadian yang bukan disebabkan cetusan faktor geologi.

Korelasi kedua-dua maklumat (taburan lokasi tanah runtuh berbanding kelas terain daripada Peta Terain Geologi JMG) memberikan maklumat yang amat baik, kebanyakan cerun tinggi (>10m) yang gagal terdiri daripada Kelas III dan IV (seperti yang ditunjukkan di Rajah 5). Ini juga menunjukkan peta terain geologi JMG amat praktikal, ia bukan sahaja sesuai digunakan untuk menilai kesesuaian

dan kestabilan cerun pra-pembinaan tetapi juga untuk kes pos-pembinaan. Berdasarkan Jadual 2, terdapat juga lokasi kejadian tanah runtuh yang jatuh pada kelas I dan II. Namun, secara keseluruhan, pengkaji lepas menjelaskan bahawa terdapat banyak kegagalan cerun dan tanah runtuh telah berlaku di UKM, antaranya disebabkan oleh luluhawa pantas pada muka cerun terdedah, hujan dan resapan ke dalam tanah, satah gelinciran pada sempadan gred luluhawa terdedah, dan saliran permukaan cerun (Ibrahim Komoo, 1987); dan kelemahan dalam aspek kejuruteraan dan bahan cerun mudah terhakis, pengumpulan air yang berlebihan di bawah tanah, kekurangan langkah-langkah mitigasi ke atas cerun, dan tidak semua cerun dibetulkan dan ada yang terbengkalai tanpa apa-apa tindakan (Jaafar *et al.*, 2011).

Prognosis awal kajian ini terhadap siri kejadian yang tiba-tiba mendapati beberapa faktor pencetus dan pendorong yang menyumbang kepada fenomena ini, iaitu:

Jumlah hujan yang luar biasa untuk jangka masa sebulan merupakan antara pencetus utama. Berdasarkan data stesen cuaca terdekat di Empangan Semenyih (JMM 2013) merekodkan jumlah hujan bulanan pada Oktober 2012 (336.6mm), November 2012 (826.0mm), dan Disember

2012 (271.6mm); jumlah hujan yang turun dalam 14 hari sebelum kejadian pertama (11 Nov 2012) telah mencapai 422.8mm manakala jumlah hujan pada bulan November itu sendiri merupakan 2-3 kali ganda hujan bulanan.

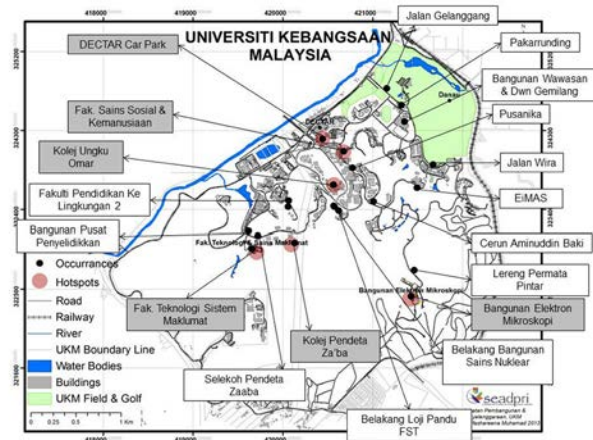
Masalah saliran cerun menjadi salah satu punca pencetus. Saliran atas cerun yang tidak berfungsi seperti tersumbat dan terputus atau tidak efisien untuk mengalirkan air dan mengurangkan air menyerap ke dalam cerun.

Cerun uzur, dalam kebanyakan kes, cerun di sekitar UKM telah dipotong sejak 20-30 tahun dahulu pada akhir tahun 1970-an dan awal 1980-an. Keluluhawaan dan hakisan telah melemahkan ketahanan bahan dalam cerun dan kestabilan cerun juga turut menyosot.

Selain itu, kebanyakan cerun yang gagal merupakan kes perulangan di mana pada cerun tersebut atau bersebelahan mempunyai petanda sejarah gerakan cerun pada masa lepas. Tanda-tanda ini dapat diperhatikan semasa kajian lapangan yang menunjukkan kesan ceburam cerun tersebut telah pernah bergerak atau gagal. Rekod penyelenggaraan juga menyokong ada beberapa cerun yang diperbaiki pada kali kedua.

Perubahan bentuk rupabumi disebabkan oleh pembangunan pesat dihadapi di UKM serta aktiviti-aktiviti antropogenik yang dijalankan di atas cerun-cerun tersebut.

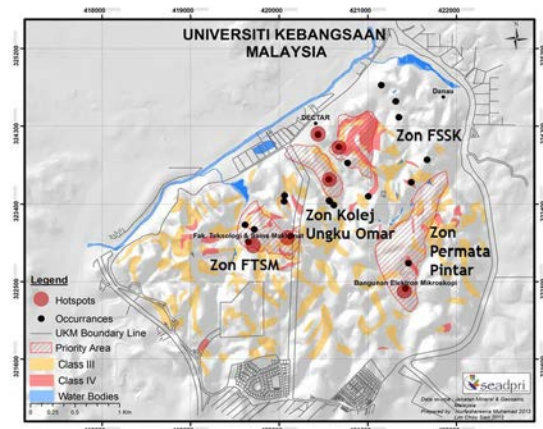
Peta jasad timbul atau *shaded-relief* telah dijana untuk membahagikan kawasan UKM kepada unit pemetaan lebih kecil yang digelar unit terrain atau wilayah terrain (van Zuidam, 1985; Way, 1978). Rajah 6 menunjukkan tindan-lapis peta *shaded-relief*, bersama kelas terrain III dan IV dan lokasi tanah runtuh serta hasil akhir yang diperolehi iaitu Peta Zon Prioriti. Hasil analisis mengenalpasti 4 zon prioriti utama yang perlu perhatian segera, di mana 3 zon yang dikenalpasti mempunyai kepadatan bangunan dan kependudukan bilangan manusia yang tinggi, 1 zon lagi (Bangunan Elektron Mikroskopi) menempatkan peralatan mahal, jalan raya ke kawasan tersebut merupakan jalan tunggal yang tidak ada jalan alternatif dan wujudnya sejarah perulangan kejadian tanah runtuh pada lokasi yang sama dan berdekatan.



Rajah 4: Peta lokasi kejadian tanah runtuh bersama hotspots di Universiti Kebangsaan Malaysia.



Rajah 5: Peta lokasi kejadian tanah runtuh bersama klasifikasi terrain kelas III dan kelas IV di Universiti Kebangsaan Malaysia.



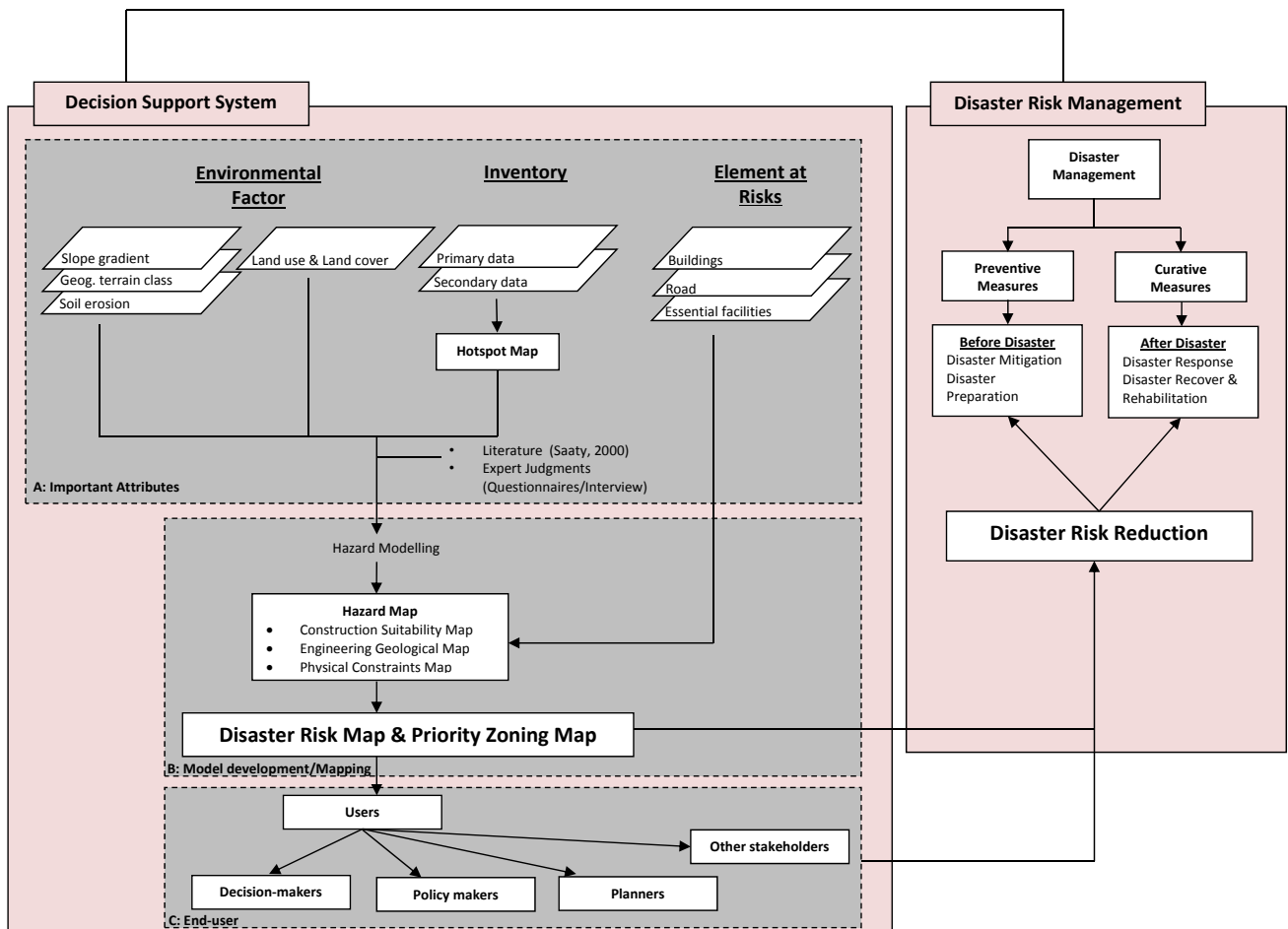
Rajah 6: Peta pengezonan kawasan prioriti di Universiti Kebangsaan Malaysia.

Pengurusan risiko bencana secara bersepadu memerlukan rekod dan satu sistem maklumat atau pangkalan yang baik untuk menyokong membuat keputusan secara bermaklumat. Namun, antara kekangannya ialah maklumat kejadian tanah runtuh dalam institusi ini belum direkodkan secara terurus dan sistematik, lokasi kejadian tanah runtuh dan kegagalan cerun yang telah dan belum dibaik pulih juga tidak direkodkan dalam satu sistem yang berpusat. Contoh lain, jurang rekod pemetaan awal Ibrahim Komoo (1984) yang mencatatkan kawasan tanah runtuh pada 1984 dan diikuti oleh Jaafar *et al.* (2011), sehinggalah pemetaan selepas kejadian tanah runtuh pada tahun 2012. Maklumat kejadian bencana pada masa lepas dan penyelenggaraan berkala adalah penting dalam usaha pencegahan bencana. Maka, senario ini telah menggesa usaha pengurangan risiko bencana dalam kawasan kampus. Oleh itu, kajian ini telah mencadangkan pembangunan DSS untuk UKM bagi membantu dan menyokong para pembuat keputusan dan pihak berkepentingan dalam membuat keputusan yang berkesan untuk mengurangkan risiko bencana dalam UKM.

Rajah 7 telah mempamerkan rangka kerja konsep DSS dicadangkan untuk UKM yang mana, hasil akhir DSS ini merupakan satu peta risiko bencana. Melalui sistem ini, dapat dilihat pelbagai atribut penting mengenai bencana,

seperti faktor yang mempengaruhi (*causative factors/ environmental factors*) dan meningkatkan keretanan bencana telah disatukan menggunakan keupayaan GIS. Seperti yang diterangkan dalam Pick (2008), DSS yang bersifat menyeluruh bukan sahaja menyediakan maklumat, tetapi membantu, memanipulasikan, meringkaskan, dan menganalisis data dan maklumat tersebut dalam usaha memberi bantuan. Hasil yang diperolehi dipercayai dapat membantu dalam membuat keputusan serta mengesyorkan cadangan-cadangan yang relevan untuk digunakan dalam mengurangkan risiko bencana di UKM.

Justeru, dengan bantuan DSS, peta kejadian tanah runtuh dari tahun 2009 hingga 2012 telah dibangunkan. Kesemua rekod kejadian tanah runtuh di UKM dapat dikumpulkan dengan bantuan maklumat dari pihak JPP UKM dan hanya kejadian yang berlaku dari tahun 2009 sehingga 2012 sahaja dapat diakses buat masa ini. Melalui kajian ini, kawasan *hotspot* di kawasan kajian dikenalpasti berdasarkan kawasan yang mempunyai kepadatan populasi terutama sekali pelajar yang tinggi (*vulnerable community*) yang mana meletakkan komuniti ini di tahap keretanan yang tinggi serta lokasi kejadian yang berlaku berhampiran dengan kolej kediaman, bangunan akademik serta infrastruktur penting UKM. Peta Zon Prioriti telah dihasilkan berdasarkan



A: Important attributes – atribut penting, B: Model development/Mapping – pembangunan model/pemetaan, C: End-user - pengguna

Rajah 7: Rangka kerja konsep Sistem Sokongan Membuat Keputusan untuk Pengurangan Risiko Bencana.

tindan-lapis beberapa lapisan peta dan penilaian kriteria. Justeru, berdasarkan output yang diperolehi, kajian ini telah memberikan input yang berguna kepada pihak JPP UKM supaya fokus yang lebih dapat diberi kepada kawasan yang berada dalam zon dan perhatian yang secukupnya diberikan terhadap komuniti yang tinggal di zon tersebut.

Sebagai satu unit perancangan dan pengurusan universiti, JPP UKM perlu mengurus-tadbir keseluruhan kawasan universiti yang seluas 1,100 hektar. Tugas jabatan ini melibatkan perancangan, pembinaan dan penyelenggaraan semua infrastruktur di dalam kampus termasuk bangunan, infrastruktur, kemudahan dalam bangunan dan aset-aset universiti. Kapasiti dan tugas JPP UKM hampir setara dengan sebuah pejabat Pihak Berkuasa Tempatan dalam mengurus-tadbir sebuah pekan kecil. Sebagai *end-user* untuk DSS yang dicadangkan, setakat ini, pihak JPP UKM telah mengambil tindakan berdasarkan peta yang dihasilkan ini. Malah melalui peta ini, bukan sahaja membantu dan memudahkan pihak JPP membuat keputusan, malah ia merupakan satu cara untuk mengkoordinasikan strategi mitigasi berstruktur agar yang lebih berkesan dan membantu merancang perbelanjaan supaya ia selaras dibelanjakan untuk aktiviti-aktiviti pencegahan dan pemulihan dalam kampus ini. Malah maklumat zon-zon prioriti yang ditonjolkan di UKM ini disifatkan sebagai inisiatif awal untuk memulakan perancangan jangka panjang untuk pencegahan bencana dalam kawasan kampus ini. Malah, melalui DSS juga sifat tanggungjawab pihak berkepentingan dalam UKM meningkat apabila kesemua mereka sedar akan tanggungjawab mereka dan masing-masing bekerjasama dalam menangani isu pengurangan risiko bencana.

KESIMPULAN

Sebanyak 22 kejadian tanah runtuh telah dikenalpasti di UKM dalam tempoh empat tahun iaitu dari 2009 hingga 2012. Berdasarkan penilaian beberapa kriteria seperti keseriusan (*seriousness*), kebolehan-tangani (*manageability*), keterdesakan (*urgency*) dan rebakan (*growth*) bersama dengan tindakan-lapis beberapa peta tema dengan menggunakan teknologi GIS, empat zon prioriti telah dikenalpasti di kawasan UKM. Maklumat zon-zon prioriti ini didapati sangat berguna oleh pihak Jabatan Pembangunan dan Penyelenggaraan (JPP) UKM. Pihak tersebut telah menggunakan maklumat-maklumat ini dalam menyokong untuk membuat keputusan dalam mengkoordinasikan strategi mitigasi berstruktur agar lebih berkesan dan membantu merancang perbelanjaan supaya ia selaras dibelanjakan untuk aktiviti-aktiviti pencegahan dan pemulihan dalam kampus ini. Maklumat ini juga dapat membantu dalam menonjolkan komuniti serta infrastruktur yang berada dalam kerentanan untuk diberi perhatian di samping merancang pelan tindakan semasa bencana berlaku (*emergency action plan during disaster*). Malah maklumat ini disifatkan sebagai inisiatif awal untuk memulakan perancangan jangka panjang untuk pencegahan bencana dalam kawasan UKM. Secara keseluruhan, Sistem Sokongan Membuat Keputusan (*DSS*) diperkukuhkan lagi dengan data-data geologi untuk bencana tanah runtuh. Sistem

ini juga berguna untuk menyokong penggubalan dasar dan perancangan pembangunan.

PENGHARGAAN

Penyelidikan ini telah dibiayai oleh peruntukkan Dana Pembangunan Penyelidikan kod projek DPP-2013-078 dan Dana COE kod projek XX-07-2012. Yuran pengajian penulis pertama dibiayai oleh Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia melalui MyBrain. Setinggi-tinggi penghargaan dan jutaan terima kasih kepada pihak Jabatan Mineral dan Geosains (JMG) Selangor terutama sekali kepada Dato' Zakaria Mohamad selaku Pengarah JMG Selangor, Encik Mahisham Ibrahim dan Encik Qalam A'zad Rosle serta Jabatan Pembangunan dan Penyelenggaraan (JPP) UKM terutama sekali pada Encik Zulkepli di atas penyediaan data-data berguna untuk kajian ini. Jutaan terima kasih juga diucapkan kepada semua pihak yang terlibat secara langsung mahupun secara tidak langsung dalam kajian ini.

REFERENCES / RUJUKAN

- Abdullah Sani Hj. Hashim, 1976. Geological Mapping of Teluk Datuk, Sepang, Selangor. (Syt 101 & 102). Chung, S.K. (ed.). Malaysia Geological Survey Annual Report 1976. Geological Survey of Malaysia, Ipoh, 167-183.
- Abdullah Sani Hj. Hashim, 1985. Progress Report: Geological Mapping of Teluk Datuk, Sepang, Selangor. (Syt 101 & 102). Santokh-Singh, D. (ed.). Malaysia Geological Survey Annual Report 1985. Geological Survey of Malaysia, Ipoh, 191-195
- Alter, S., 2002. Information System. The foundations of e-Business. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 587 pp.
- Bendimerad, F., 2003. Disaster Risk Reduction and sustainable development. World Bank Seminar on The Role of Local Governments in Reducing The Risk of Disaster, Istanbul, Turkey, 28 April – 2 May. Washington, DC: World Bank
- Billa, L., Shattri, M., & Mahmud, A. R., 2004. Spatial information technology in flood early warning system: an overview of theory, application and latest development in Malaysia. Disaster Prevention and Management, 13(5), 356-363
- Billa, L., Shattri, M., Mahmud, A. R., & Ghazali, A. H., 2006. Comprehensive planning and the role of SDSS in flood disaster management in Malaysia. Disaster Prevention and Management, 15(2), 233-240
- Bull-Kamanga, L., Diagne, K., Lavell, A., Leon, E., Lerise, F., MacGregor, H., Maskrey, A., Meshack, M., Pelling, M., Reid, H., Satterthwaite, D., Songsore, J., Westgate, K., & Yitambe, A., 2003. From everyday hazards to disasters: the accumulation of risk in urban areas. Environment & Urbanization, 15(1), 193-203
- Chang, K., 2012. Introduction to Geographic Information System (6th ed.). McGraw Hill Science. 418 pp.
- Chow, W. S., & Zakaria Mohamad, 2002. Terrain mapping for landuse planning. Second IKRAM International Geotechnical Conference (IGEO-2), 28-29th October, 2002, Kuala Lumpur
- Coppola, D. P., 2007. Introduction to international disaster management. Elsevier. 696 pp.
- Cunningham, D., 2006. The application of risk analysis tools in civil defence and emergency management groups. New Zealand Civil Defence, Wellington.
- Disaster Management Framework, 2007. Western Cape Disaster Management Framework, available at: <http://www.westerncape.gov.za/text/2013/July/provin07ex-gaz-disaster-3-oct-2007.pdf> (accessed on 25 June 2013)

- Djalante, R., & Thomalla, F., 2012. Disaster risk reduction and climate change adaptation in Indonesia. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 3(2), 167-180
- FEMA, 2011. "Hazards Risk Methodologies" available at: <http://www.training.fema.gov/EMIWeb/edu/hazrm.asp> (accessed on 25 June 2013)
- Forest Practice Code, 1999. Mapping and assessing terrain stability guidebook. Forest practices code of British Columbia Act, 36 pp.
- Geoscience Australia, 2012. "What is Risk?" available at: <http://www.ga.gov.au/hazards/risk-and-impact-analysis/what-is-risk.html> (accessed on 25 June 2013)
- Gheorge, A., & Vamanu, D., 2004. Decision support systems for risk mapping: view of the risk from the hazards perspective. *Journal of Hazardous Materials* 111, 45-55
- Ghosh, S., 2012. *Natural Disaster Management*. SBS Publisher, UK. 250 pp.
- Ibrahim Komoo, Sarah Aziz, & Lim, C. S., 2011. Incorporating the Hygo Framework for Action into Landslide Disaster Risk Reduction in Malaysia. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia* 57, 7-11.
- Ibrahim Komoo, 1984. Geological aspect engineering of the earth in Bangi, Selangor. *Ilmu Alam* 12&13, 41-54.
- Ibrahim Komoo, 1987. Survey of slope failures in Selangor. *Sains Malaysiana* 16 (1), 1-14
- Jaafar, M., Yusof, A. H., & Yahaya, A., 2011. ROM Scale for forecasting landslide susceptibility analysis: Study of Universiti Kebangsaan Malaysia campus, Bangi. *Malaysia Journal of Society and Space*, 7(3), 45-55
- JMG (Selangor Mineral and Geoscience Department, Selangor), 2012. Data of Geological Terrain Map of Universiti Kebangsaan Malaysia
- JMM (Malaysia Meteorological Department), 2013. Distribution of rainfall data 2012 of four stations around Universiti Kebangsaan Malaysia
- Khailani, D. K., & Perera, R., 2013. Mainstreaming disaster resilience attributes in local development plans for the adaptation to climate change induced flooding: a study based on the local plan of Shah Alam city, Malaysia. *Landuse Policy* 30, 615-627
- Kishore, K., 2003. Disaster in Asia and the Pacific: an overview, available at: <http://www.adpc.net/infos/adpc-documents/DisastersinAsia.pdf> (accessed on 25 June 2013)
- Lawrance, C. J., 1972. Terrain evaluation in West Malaysia, Part 1. Terrain classification and survey methods. DOE, TRRL Report LR 506, Crowthorne, 1972.
- Lim, C. S., Ibrahim Komoo, Pereira, J. J., & Shahrudin Idrus, 2000. Translating geological information for geohazard management and planning responses. *Proceedings Annual Geological Conference 2000*, 8th – 9th September, Penang, 269-272
- Lim, C. S., 2004. Pemetaan Geobencana Menggunakan Sistem Maklumat Geografi: Kajian Kes Di Wilayah Lembah Klang. MSc Thesis Universiti Kebangsaan Malaysia (unpublished)
- McEntire, D. A., 2001. Triggering agents, vulnerabilities and disaster reduction: towards a holistic paradigm. *Disaster Prevention and Management*, 10(3), 189-196
- Moe, T. L., & Pathnanarakul, P., 2006. An integrated approach to natural disaster management. *Disaster Prevention and Management*, 15(3), 396-413
- Muthu, K., & Petrou, M., 2007. Landslide-hazard mapping using and expert system and a GIS. *Geoscience and Remote Sensing*, 45(2), 522-531
- Natural Disasters Organisation, 1991. *Community Emergency Planning Guide*. Australia: Natural Disasters Organisation.
- Nazir, M. K., Bajwa, I. S., & Khan, M. I., 2006. A conceptual framework for earthquake disaster management system (EDMS) for Quetta City using GIS. 1st International Conference on Advances in Space Technologies, (ICAST 2006), 2nd – 3rd September, Islamabad, 117- 120
- Palliyaguru, R., Amaratunga, D., & Haigh, R., 2010. Integration of disaster risk reduction into infrastructure reconstruction sector. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 1(3), 277-296
- Pick, R. A., 2008. *Handbook on Decision Support Systems 1*, International Handbooks Information System, 719-730
- Power, D. J., & Sharda, R., 2009. *Decision Support Systems. Handbook of Automation 2009*, 1539-1548
- Satterthwaite, D., Saleemul, H., Mark, P., Hannah, R. & Romero-Lankao, P., 2007. *Adapting to Climate Change in Urban Areas; The Possibilities and Constraints in Low- and Middle income Nations, Climate Change and Cities Series, Discussion Paper No. 1*. International Institute for Environment and Development (IIED), London. 108 pp.
- Mohamed Shalluf & Ahmadun, F., 2006. Disaster types in Malaysia: an overview. *Disaster Prevention and Management*, 15(2), 286-298
- Natural Disaster Organisation, 1992. *Australian Emergency Manual: Community Emergency Planning Guide 2nd Edition*. Natural Disaster Organisation, Dickson ACT.
- Sprague, J. R. H., & Watson, H. J., 1989. *Decision Support System, putting theory into practice (2nd ed.)*. Prentice-Hall International Edition, UK. 403 pp.
- Stauffer, P. H., 1973. Cenozoic. In: Gobbett, D.J. & Hutchison, C.S. (eds.), *Geology of Malay Peninsular*. Wiley-Interscience, New York, 143-176
- UNISDR, 2006. 20 Examples of good practice from central Asia 2006. United Nation International Strategy for Disaster Reduction, 47 pp. Available at: <http://www.unisdr.org/we/inform/publications/2300> (accessed on 25 June 2013)
- UNISDR, 2007. UNISDR Terminology on disaster risk reduction 2007. United Nation International Strategy for Disaster Reduction, 35 pp. Available at: <http://www.unisdr.org/we/inform/terminology> (accessed on 25 June 2013)
- Van Zuidam, R. A., 1985. *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. Smits Publishers, Netherland. 442 pp.
- Vold, T., 1981. *Terrain analysis for transportation systems in British Columbia*. TRRL paper No. 882.
- Way, D. S., 1978. *Terrain analysis: a guide to site selection using aerial photographic interpretation. (2nd Ed.)*. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., Pennsylvania. 438 pp.
- Waynell, L., 1978. *Understanding natural systems – A perspective for landuse planning in Appalachian Kentucky*, USGS Bulletin.
- Wester, C. J. V., Castellanos, E., & Kuriakose, S. L., 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology* 102, 112-131
- World Health Organisation, 1998. *Risk Assessment for Emergency Management*. World Health Organisation, Addis Ababa. 22 p
- Wisner, B., Blaike, P., Cannon, T., & Davis, I., 2003. *Framework and theory. At Risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters Second Edition*. 134 pp.
- Zakaria Mohamad, & Chow, W. S., 2003. Geological terrain mapping in Cameron Highlands district, Pahang. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 46, 69-73

Manuscript received 1 July 2013

Revised manuscript received 8 August 2013