

Aplikasi GIS dalam penaksiran risiko gelinciran tanah (LRA): Kajian kes bagi kawasan sekitar Bandaraya Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia

RODEANO ROSLEE,^{*1,2&3} TAJUL ANUAR JAMALUDDIN¹ & MUSTAPA ABD. TALIP³

¹Southeast Asia Disaster Prevention Research Institute (SEADPRI),
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

²Program Geologi, Sekolah Sains dan Teknologi, Universiti Malaysia Sabah,
Jalan UMS, 88400 Kota Kinabalu, Sabah

³Centre for Remote Sensing and GIS (CERGIS), Universiti Malaysia Sabah,
Jalan UMS, 88400 Kota Kinabalu, Sabah

*Email address: rodeano@ums.edu.my

Abstrak: Kertas kerja ini memperkenalkan konsep penaksiran risiko gelinciran tanah (LRA) yang bertujuan untuk membangunkan sebuah model yang komprehensif dan bermanfaat kepada pihak-pihak berkepentingan dan sesuai digunakan dalam keperluan tempatan. Bagi mencapai matlamat ini, pertama, sebuah pengkalan data semi-kuantitatif telah dibangunkan melalui rujukan yang ekstensif, kerja lapangan dan kerja makmal. Ini termasuklah kompilasi data sekunder, kajian penderiaan jauh, pemetaan geologi kejuruteraan, pencerapan pencirian parameter bencana serta menjalankan ujian mekanik tanah dan batuan. Kedua, adalah untuk menetapkan kriteria bagi pengenalpastian bencana gelinciran tanah. Sebanyak tujuh parameter yang berkaitan telah diambil kira; iaitu litologi, fitur geodinamik, keadaan cerun, hidrologi/hidrogeologi, jenis guna tanah, pencirian kejuruteraan tanah, dan pencirian kejuruteraan batuan. Kesemua parameter-ini digabungkan dan dianalisis bersama dengan peta taburan gelinciran tanah (LDM) bagi menjana sebuah peta bencana gelinciran tanah (LHM). LDM dihasilkan dari kajian lapangan dan penafsiran imej satelit untuk menandakan lokasi-lokasi gelinciran tanah. Ketiga, survei terhadap kemudahterancaman (fizikal, sosial dan persekitaran) dan kompilasi data sekunder terhadap elemen berisiko (populasi dan nilai harta benda) dijalankan untuk menghasilkan peta populasi (PM) dan peta nilai harta benda (PVM). Akhir sekali, peta risiko gelinciran tanah (LRiM) pula dihasilkan melalui pertindihan LHM, PM dan PVM. LHM bagi kawasan Kota Kinabalu mencadangkan 2.8% daripada keseluruhan kawasan dikategorikan sebagai bencana sangat rendah, 14.1% sebagai bencana rendah, 19.7% sebagai bencana sederhana, 51.6% sebagai bencana tinggi, 11.3% sebagai bencana sangat tinggi dan 0.4% sebagai bencana lampau tinggi. LRiM menunjukkan bahawa 13.1% daripada kawasan Kota Kinabalu adalah dalam zon berisiko sangat rendah, 20.3% dalam zon berisiko rendah, 16.1% dalam zon berisiko sederhana, 17.5% dalam zon berisiko tinggi, 23.1% dalam zon berisiko sangat tinggi dan 1.0% dalam zon berisiko lampau tinggi. Kawasan-kawasan dalam zon bencana rendah tidak bermaksud berisiko rendah terhadap gelinciran tanah, dan begitu juga sebaliknya. Penyelidikan ini menunjukkan kemampuan teknik GIS sebagai peralatan berintegrasi untuk mengendalikan data semi-kuantitatif dalam penyelidikan spatial LRA.

Application of GIS in landslide risk assessment (LRA): A case study of the Kota Kinabalu area, Sabah, Malaysia

Abstract: This paper introduces a landslide risk assessment (LRA) concept to develop a comprehensive model, which can benefit stakeholders and suited for local conditions. The first step was to develop a semi-quantitative database through extensive desk, field and laboratory studies, including compilation of secondary data. In addition, data from remote sensing studies, engineering geological mapping, characterisation of observed hazard parameters, and soil and rock testings were also included. The next step was to establish criteria for landslide hazard evaluation. Seven parameters were taken into account; i.e. geology, geodynamic features, slope conditions, hydrology/hydrogeology, landuse, engineering characteristics of soils, and engineering characteristics of rocks. All the parameters were compiled and analysed with the landslide distribution map (LDM) to generate a landslide hazard map (LHM). The LDM was based on landslide locations obtained from field studies and satellite image interpretation. The third step was a vulnerability survey (physical, social and environmental) and compilation of secondary data for elements at risk (population and property values) to produce the population map (PM) and property value map (PVM). Finally, the landslide risk map (LRiM) was produced by superimposing the LHM, PM and PVM. The LHM of Kota Kinabalu area suggests that 2.78% of the area can be categorised as having very low hazard, 14.1% as low hazard, 19.7% as medium hazard, 51.6% as high hazard, 11.3% as very high hazard and 0.4% as extremely high hazard. The LRiM indicates that 13.1% of the Kota Kinabalu area is in very low risk zone, 20.3% in low risk zone, 16.1% in medium risk zone, 17.5% in high risk zone, 23.1% in very high risk zone and 1.0% in extremely high risk zone. Areas with low degree of landslide hazards may not necessary will have low risk to landslides and vice-versa. This study shows the ability of the Geographic Information System approach as a powerful integrative tool in handling semi-quantitative data in spatial LRA research.

Keywords: GIS, landslide risk assessment, landslide hazard map, landslide risk map

PENGENALAN

Penaksiran risiko gelinciran tanah (LRA) ditakrifkan sebagai suatu proses membuat cadangan keputusan bagi mengukur tahap tolerabiliti risiko yang hadir dan memastikan langkah-langkah pengawalan risiko adalah mencukupi, dan sekiranya tidak, langkah-langkah pengawalan risiko alternatif perlu dijustifikasikan ataupun dilaksanakan. Penaksiran risiko merangkumi fasa-fasa analisis bencana, analisis risiko dan penilaian risiko (Fell *et al.*, 2005). Matlamat utama penyelidikan LRA adalah untuk menentukan “darjah kerugian yang boleh dijangkakan disebabkan oleh kejadian gelinciran tanah (spesifik risiko) dan bilangan jangkaan kematian, orang yang tercedera, kerosakan harta benda dan gangguan terhadap aktiviti ekonomi (jumlah risiko)” (Varnes & the IAEG Commission on Landslides and other Mass-Movements, 1984). Keadaan ini memerlukan suatu pengukuran penaksiran yang tepat dan lebih praktikal terhadap ancaman bencana daripada gelinciran tanah.

Penyelidikan LRA memerlukan komunikasi yang bukan hanya di kalangan jurutera ataupun geosaintis, tetapi juga di kalangan tenaga-tenaga pakar lain yang berbeza dari segi latar belakang bidang penyelidikan. Untuk memastikan sebuah komunikasi yang berkesan, kesemua profesion ini perlulah bersetuju dan bersepakat untuk menggunakan terminologi yang konsisten supaya ianya bersifat lebih praktikal dan boleh diterima. Atas alasan ini, terminologi – terminologi yang sesuai perlulah dibangunkan selaras dengan keperluan semasa. Terminologi yang digunakan dalam kertas kerja ini sudah diterima-pakai sejak sekian lamanya berdasarkan kepada “Glosari bagi terma-terma dalam Penaksiran Risiko” (*Glossary of Terms for Risk Assessment*) yang telah diperkenalkan oleh Jawatankuasa Teknikal Penaksiran dan Pengurusan Risiko (TC32) Persatuan Antarabangsa Mekanik Tanah dan Geoteknik Kejuruteraan (ISSMGE, 2007; Crozier & Glade, 2005).

Konsep risiko (bencana (H) x kemudahterancaman (V) x elemen berisiko (E)) telah digunapakai dalam isu-isu gelinciran tanah oleh pelbagai penulis (cth. Fell, 1994; Leone *et al.*, 1996; Leroi 1996; Hearn & Griffiths, 2001; dll.). Terdapat juga beberapa penerbitan menyeluruh yang merangkumi pelbagai usaha untuk mengatasi risiko gelinciran tanah seperti oleh Cruden & Fell (1997), Hardingham *et al.* (1998), Finlay *et al.* (1999), Guzzetti (2000), Michael-Leiba *et al.* (2000), Hearn & Griffiths (2001), Cardinali *et al.* (2002) dan Dai *et al.* (2002). Secara umumnya terdapat dua jenis penyelidikan utama aplikasi GIS dalam LRA yakni kualitatif dan kuantitatif. Inventori gelinciran tanah dan pendekatan heuristik dikategorikan sebagai kaedah kualitatif. Dalam kebanyakan penyelidikan LRA, inventori gelinciran tanah merupakan perkara asas bagi membangunkan atau mengesahkan sesuatu kaedah. Kaedah yang dipilih tidak semestinya berpandukan kepada lokasi-lokasi gelinciran tanah sebagai pembangunan model (contoh: model-model berangka), akan tetapi sering digunakan sebagai pengesahan keputusan. Kesemua inventori gelinciran tanah dianggap amat penting

kerana ia menyediakan satu sumber maklumat berpotensi untuk pembangunan masa depan dalam analisis spatial (Guzzetti *et al.*, 1999). Dengan demikian, suatu pengukuran yang tinggi perlulah diperuntukkan untuk pembangunan inventori kerana hanya hasil inventori yang berkualiti tinggi boleh dijadikan sebagai bukti dan mempunyai tahap kebolehpercayaan yang tinggi (Crozier & Glade, 2005). Pendekatan heuristik melibatkan pengetahuan *a priori* (keutamaan), pengalaman tempatan serta pengadilan tenaga pakar. Pendekatan ini juga menggunakan segala maklumat ruangan bagi menjelaskan segala kejadian gelinciran tanah yang berdasarkan kepada faktor-faktor seperti topografi, hidrologi, geologi, geoteknikal, atau geomorfologi, litupan tumbuhan dan lain-lain (Barredo *et al.*, 2000; van Westen *et al.*, 2000; van Westen *et al.*, 2003; Perotto-Baldiviezo *et al.*, 2004). Kesemua faktor ini sering ditentukan melalui hasil tafsiran kerja lapangan ataupun kajian fotograf udara dalam suatu penganggaran utama terhadap darjah aktiviti yang berkaitan dengan proses-proses gelinciran tanah dan apa-apa kajian lanjut yang lain (Cardinali *et al.*, 2002; dan Crozier & Glade, 2005). Nilai pemberat yang dicadangkan oleh tenaga pakar dalam faktor-faktor persekitaran yang berbeza mampu menghasilkan sebuah keputusan yang jitu dan tepat bergantung kepada pengetahuan serta pengalaman individu dalam menyediakan suatu penaksiran awal dalam penyelidikan LRA.

Sebaliknya, pendekatan lain yang menggunakan kaedah-kaedah kuantitatif umumnya berdasarkan kepada kriteria objektif ataupun teori secara berulang untuk menghasilkan keputusan-keputusan yang tepat bagi set-set data yang serupa. Kaedah-kaedah kuantitatif termasuklah kaedah statistik, kebarangkalian, proses-berasas (process-based) atau pendekatan berangka yang lain. Kaedah statistik merupakan kaedah yang paling popular digunakan. Peta-peta faktor seperti geologi, jenis tanah ataupun keadaan topografi (contoh: sudut cerun, kelengkungan mendatar dan menegak, aspek cerun, jarak pembahagi) sering dibandingkan dengan lokasi taburan gelinciran tanah hasil daripada pengiraan peta inventori dan ketumpatan gelinciran tanah.

Analisis statistik jenis bivariat biasa digunakan untuk membandingkan setiap faktor berasingan dengan lokasi-lokasi gelinciran tanah dan faktor pemberat asas yang dikira bagi setiap faktor yang terlibat. Walau bagaimanapun, dengan menggunakan kaedah statistik jenis multivariat, kesemua gabungan peta-peta faktor boleh dikaitkan dengan lokasi-lokasi gelinciran tanah dan keputusan matriks yang mana ianya kemudiannya dianalisis dengan pengujian statistik seperti analisis regresi berganda ataupun analisis diskriminan (Chung *et al.*, 1995; Atkinson & Massari, 1998; Dai *et al.*, 2001; Dai & Lee, 2002; dan Ohlmacher & Davis, 2003). Kaedah-kaedah statistik lain yang menyediakan model-model ramalan kebarangkalian (cth. kebarangkalian bayesian/logik fuzzy/rangkaian neural artifisial (*artificial neural network*, ANN)) juga boleh jadi digunakan bagi menghasilkan peta-peta GIS bencana gelinciran tanah dalam penyelidikan LRA (Binaghi *et al.*, 1998; Rowbotham & Dudycha, 1998; Chung & Fabbri, 1999; Guzzetti *et*

al., 1999; Jibson *et al.*, 2000; Luzzi *et al.*, 2000; Parise & Jibson, 2000; Baeza & Corominas, 2001; Lee & Min, 2001; Clerici, 2002; Ercanoglu & Gokceoglu, 2002; Pistocchi *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2002a,b; Rece & Capolongo, 2002; Zhou *et al.*, 2002; Fernández-Steege *et al.*, 2002; Chung & Fabbri, 2003; Remondo *et al.*, 2003; Lee & Choi, 2003; Lee *et al.*, 2003a,b; Lee *et al.*, 2004; Champati Ray *et al.*, 2007; Kanungo *et al.*, 2008). Sebagai contoh, kaedah logik fuzzy menggunakan peraturan 'if-then' untuk set-set faktor yang berlainan berdasarkan kepada pendekatan keputusan pepohon (*decision tree*). Andaian-andaian asas di dalam kedua-dua pendekatan statistik ini adalah bersekitaran statik dan mencetuskan syarat-syarat penyempadanan. Dengan mempertimbangkan perubahan semasa berkenaan kesan perubahan iklim terhadap kejadian gelinciran tanah (Dehn 1999; Schmidt & Glade 2003), perubahan syarat-syarat kawasan tadahan yang diikuti oleh kejadian gelinciran tanah (Crozier & Glade, 2005), serta kesan manusia terhadap keadaan persekitaran melalui perubahan penggunaan tanah (Frattoni & Crosta, 2002), ianya jelas bahawa kesemua andaian-andaian ini sangat mempengaruhi hasil penafsirannya. Penggunaan set-set data yang berbeza untuk keperluan analisis ruangan memerlukan perhatian yang teliti. Pertama, set-set data yang besar yang sukar untuk ditaksir bagi beberapa kawasan-kawasan terpencil adalah diperlukan. Kedua, data input yang digunakan perlulah berkualiti dan beresolusi tinggi. Rangkaian neural artifisial pula menawarkan satu mekanisme pengkomputeran yang berupaya memperoleh, mewakili, dan mengira sebuah peta hasil daripada maklumat ruangan multivariat kepada yang lain, memberi satu set data yang mewakili perhubungan (Lu & Rosenbaum, 2003). Rangkaian neural artifisial dilatih oleh penggunaan satu set input yang bersekutu dan mengeluarkan sesuatu nilai. Kaedah ini tidak terdapat dalam sistem GIS yang ada kerana ianya perlu diprogramkan dalam sistem perisian computer yang lain seperti MATLAB (Lee *et al.*, 2003a,b).

Kumpulan kedua dalam pendekatan kuantitatif meliputi kaedah berangka, kaedah berketentuan dan proses-berasas (process-based) (Romeo, 2000; Zhou *et al.*, 2003). Dalam set ini, kaedah serta keadaan topografi (contoh: sudut cerun, kelengkungan mendatar dan menegak, aspek cerun, jarak pembahagi) dikaitkan dengan keadaan hidrologi (contoh: tanah tepu, kebolehtelapan, keberkonduksian hidraulik) serta maklumat geoteknikal pencirian tanah secara menyeluruh (contoh: kejelikitan, sudut geseran, berat unit) bagi menjalankan analisis kestabilan cerun. Kebanyakan daripada model-model yang sedia ada berdasarkan pendekatan cerun tak terhingga (*infinite slope*) (van Westen, 1993; Montgomery & Dietrich, 1994; Dietrich *et al.*, 1995; Terlien *et al.*, 1995; van Westen & Terlien, 1996; Crosta & Dal Negro, 2003; Vanacker *et al.*, 2003).

BAHAN DAN KAEDAH KAJIAN

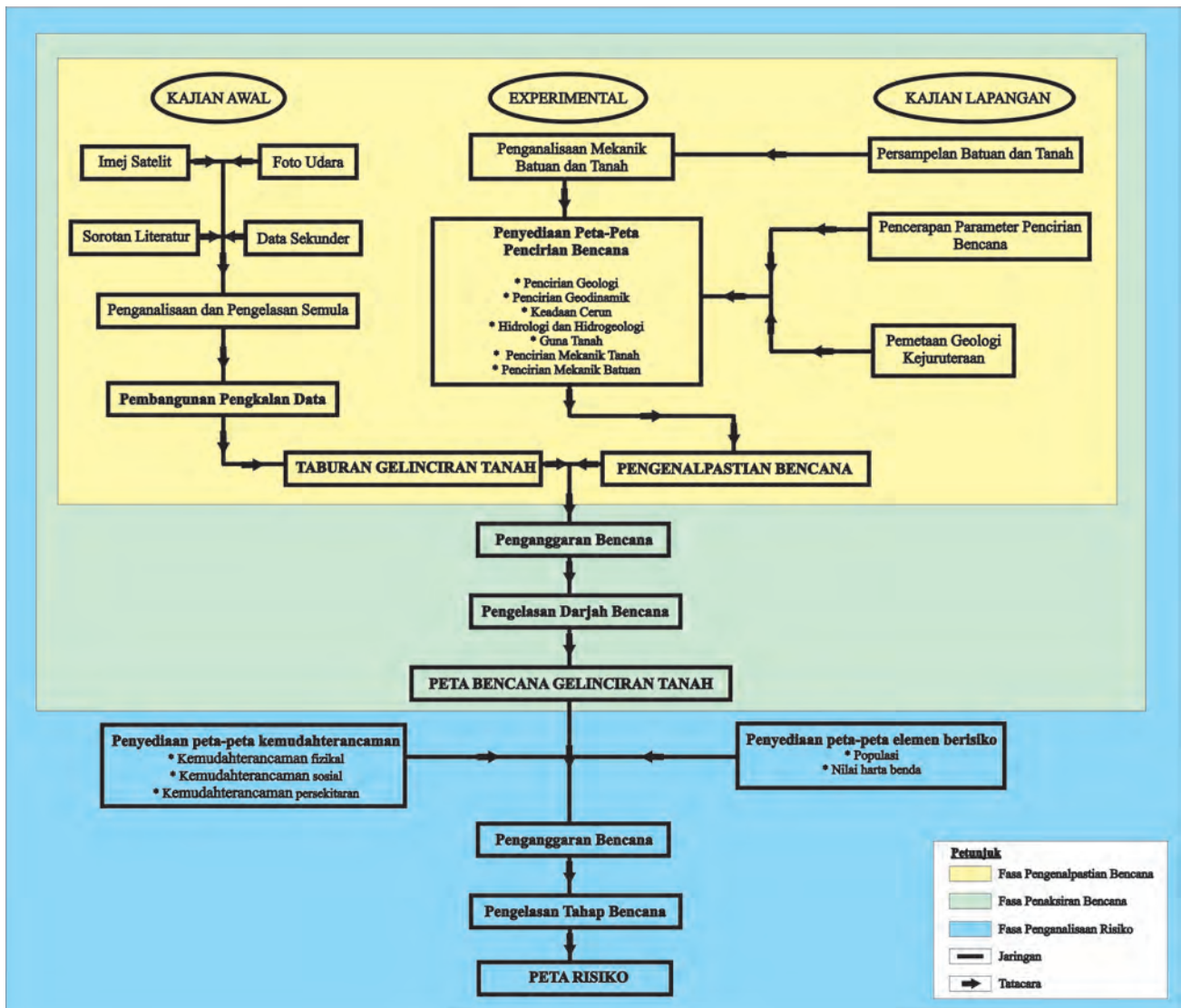
Matlamat utama kertas kerja ini dijalankan adalah untuk merekabentuk satu kaedah penyelidikan LRA yang sesuai

dengan keadaan tempatan dengan mengambil kira had-had dalam ketersediaan data dan perincian dalam aplikasi GIS. Dalam kajian ini, penggunaan kaedah semi-kuantitatif LRA telah digunakan. Kaedah ini dihasilkan melalui gabungan kajian lapangan (pencerapan dan soal selidik) serta kajian literatur secara ekstensif. Beberapa rangka kerja telah banyak dicadangkan dalam sorotan literatur (Fell, 1994; Fell & Hartford, 1997; Morgenstern, 1997; GEO, 1998; Aleotti & Chowdhury, 1999; AGS, 2000; Ho *et al.*, 2000; Dai *et al.*, 2002; Nadim & Lacasse, 2003; Lee & Jones, 2004; Fell *et al.*, 2005). Rangka kerja yang dicadangkan dalam penyelidikan ini (Rajah 1) akan menjawab beberapa persoalan yang timbul dalam penyelidikan LRA seperti berikut:

- Apakah kebarangkalian bahaya? (Pengenalpastian bahaya)
- Apakah magnitud sesuatu bahaya? (Penaksiran bencana)
- Apakah elemen berisiko? (Pengenalpastian elemen berisiko)
- Apakah yang menyebabkan darjah kerosakan dalam elemen berisiko? (Penaksiran kemudahaterancaman)
- Apakah kebarangkalian berlakunya kerosakan? (Kuantifikasi/penganggaran risiko)
- Apakah kepentingan penganggaran risiko (Penilaian Risiko)

Fasa 1: Penaksiran Bencana

Fasa 1 yang terdapat di dalam Rajah 1 merupakan peringkat awalan dalam penaksiran bencana yang terdiri daripada pengenalpastian bencana dan penganalisan bencana. Pengenalpastian bencana melibatkan 3 jenis kajian yang utama iaitu kajian awal, kajian lapangan dan kajian makmal. Kajian awal melibatkan penafsiran photo udara dan penganalisan imej satelit (perisian Erdas V.9.1) secara terperinci serta penyelidikan rujukan perpustakaan dan pengumpulan data-data sekunder secara ekstensif. Keempat-empat sumber ini akan dianalisis dan dikelaskan semula datanya bagi mendapatkan gambaran atau maklumat awal berkenaan aspek-aspek kedudukan dan sejarah taburan gelinciran tanah di kawasan kajian. Produk daripada kajian awal adalah untuk menghasilkan sebuah pengkalan data berkenaan latar belakang kejadian gelinciran tanah dan sekaligus bermatlamat untuk menghasilkan sebuah peta taburan gelinciran tanah (*landslide distribution map*, LDM) bagi kawasan kajian dengan menggunakan perisian Arc GIS V.9.3. Kajian lapangan dalam pengenalpastian bencana pula melibatkan kerja-kerja persampelan batuan dan tanah, pemetaan geologi kejuruteraan serta pencerapan maklumat-maklumat pencirian bencana gelinciran tanah seperti litologi, fitur geodinamik, keadaan cerun, hidrologi / geohidrologi, jenis guna tanah, dan pencirian kejuruteraan tanah dan batuan. Untuk kajian makmal dalam pengenalpastian bencana, kesemua sampel-sampel batuan dan tanah yang diperolehi daripada lapangan akan dianalisis dan dinilai ciri-ciri kejuruteraan mekanik batuan dan mekanik tanahnya berdasarkan piawaian yang ditetapkan oleh ISRM (1979a,b, 1985) dan BS1377-1990 seperti pengujian-pengujian kekuatan mampatan dan petanda mutu batuan (*Rock*



Rajah 1: Rangka kerja penyelidikan LRA dengan menggunakan aplikasi GIS.

Quality Designation, RQD) bagi mekanik batuan serta ujian pengelasan saiz butiran, had atterberg dan tiga paksi (pengukuhan isotropik tak tersalir, *consolidated isotropically undrained*, CIU) bagi mekanik tanah. Setelah kesemua ujian mekanik batuan dan mekanik tanah selesai, dengan hasil adunan maklumat kajian lapangan (pemetaan geologi dan kejuruteraan geologi serta pencerapan maklumat-maklumat pencirian bencana gelinciran tanah) dan kajian makmal maka beberapa peta-peta tematik pengenalpastian bencana akan dihasilkan seperti peta geologi, peta jenis tanah, peta model elevasi digital (*digital elevation model*, DEM), peta sudut cerun, peta hidrologi (curahan hujan), peta hidrogeologi dan peta jenis guna tanah.

Setiap maklumat pencirian di dalam peta-peta tematik pengenalpastian bencana ini akan diperuntukkan nilai-nilai perkadaran tertentu yang diperolehi hasil daripada penganalisaan aplikasi proses analitikal berhirarki (AHP) (Jadual 1). Untuk kerja-kerja penganalisaan bencana dalam fasa 1, kerja-kerja penggabungan/pertindanan bagi kesemua peta-peta tematik yang dihasilkan akan dianalisis bersama

dengan LDM bagi menjana sebuah peta bencana gelinciran tanah (*landslide hazard map*, LHM).

Fasa 2: Analisis Risiko

Bagi fasa 2 (analisis risiko), ia meliputi kerja-kerja survei kemudahterancaman dan elemen berisiko yang dijalankan di lapangan dan hasil daripada survei ini kemudiannya akan diterjemahkan dalam bentuk peta-peta yang dikenali sebagai peta populasi (*population map*, PM) dan peta nilai harta benda (*property value map*, PVM). Maklumat-maklumat yang terdapat di dalam PM dan PVM memberikan gambaran tentang taburan populasi (sumber: Jabatan Perangkaan Malaysia, 2008) dan nilai harta benda (sumber: Jabatan Penilaian dan Perkhidmatan Harta, 2009) di kawasan kajian. Akhir sekali dalam fasa 2 ini, peta risiko gelinciran tanah (*landslide risk map*, LRiM) pula akan dihasilkan melalui pertindihan LHM, LVM, PM dan PVM, kerana Risiko (R) = Bencana (H) x Kemudahterancaman (V) x Elemen Berisiko (E).

Jadual 1: Nilai perkadaran bagi analisis bencana gelinciran tanah (LHA).

Parameter Faktor	Nilai	Parameter Sub-Faktor	Nilai
Pencirian Geologi	27	Litologi Batuan	
		• Batu Pasir Tebal	0.5
		• Selang Lapis Batu Pasir Tebal dan Syal Nipis	0.8
		• Selang Lapis Batu Pasir Nipis dan Syal Tebal	1.3
		• Syal	2.1
		• Endapan Resen	3.3
		Jenis Tanah	
		• Kelikir Dengan Sedikit Berlodak atau Berlempung (GW / GP)	0.1
		• Kelikir Berlodak (G-M) atau Kelikir Berlempung (G-C)	0.1
		• Kelikir Sangat Berlodak (GM) atau Kelikir Sangat Berlempung (GC)	0.2
• Pasir Dengan Sedikit Berlodak atau Berlempung (SW / SP)	0.2		
• Pasir Berlodak (S-M) atau Pasir Berlempung (S-C)	0.3		
• Pasir Sangat Berlodak (SM) atau Pasir Sangat Berlempung (SC)	0.5		
• Lodak Berkelikir (MG) atau Lempung Berkelikir (CG)	0.6		
• Lodak Berpasir (MS) atau Lempung Berpasir (CS)	0.9		
• Lodak (M)	1.2		
• Lempung (C)	1.6		
• Organik (O) atau gambut (Pt)	2.2		
Jarak Lineamen (m)			
• < 10	2.9		
• 11 – 30	1.8		
• 31 – 60	1.1		
• 61 – 100	0.7		
• > 101	0.4		
Luluhawa			
• Segar (Gred I)	0.3		
• Terluluhawa Sedikit (Gred II)	0.4		
• Terluluhawa Sederhana (Gred III)	0.6		
• Terluluhawa Tinggi (Gred IV)	0.9		
• Terluluhawa Lengkap (Gred V)	1.5		
• Tanah Baki (Gred VI)	2.3		
Pencirian Geodinamik	14	Magnitud Kegagalan (Isipadu – m³)	
		• Lampau besar (> 5000000)	2.3
		• Sangat besar (1000000 – 5000000)	1.6
		• Besar (250000 – 1000000)	1.1
		• Sederhana – Besar (50000 – 250000)	0.8
		• Sederhana (5000 – 50000)	0.5
		• Kecil (500 – 5000)	0.3
		• Sangat kecil (50 – 500)	0.2
		• Lampau kecil (< 50)	0.2
		Jarak Rebakan (m)	
• Sangat jauh (> 1000)	2.9		
• Jauh (501 – 1000)	1.8		
• Sederhana (101 – 500)	1.1		
• Dekat (51 – 1000)	0.7		
• Sangat Dekat (< 50)	0.4		
Keadaan Cerun	26	Sudut Cerun (°)	
		• 0 – 5	0.8
		• 6 – 15	1.3
		• 16 – 30	2.1
		• 31 – 60	3.4
		• > 60	5.4
		Tinggi Cerun (m)	
		• 0 – 5	0.8
		• 6 – 10	1.3
		• 11 – 20	2.1
• 21 – 30	3.4		
• > 30	5.4		
Hidrologi dan Hidrogeologi	14	Taburan Hujan Harian (mm)	
		• 0 – 40	0.4
		• 41 – 100	0.7
		• 101 – 200	1.1
		• 201 – 300	1.8
		• > 300	2.9
		Paras Air Bawah Tanah (m)	
		• 0 – 5	0.4
		• 6 – 10	0.7
		• 11 – 15	1.1
• 16 – 20	1.8		
• > 20	2.9		
Guna Tanah	3	• Hutan Primer dan Sekunder	0.1
		• Kawasan Pertanian	0.1
		• Kawasan Infrastruktur Awam	0.1
		• Kawasan Jalan Raya	0.2
		• Kawasan Perkampungan	0.2
		• Kawasan Perumahan	0.3
		• Kawasan Institusi Pengajian / Sekolah	0.5
		• Kawasan Industri	0.7
		• Kawasan Perbandaran	0.9
		Pencirian Mekanik Tanah	8
• 0 – 11	1.9		
• 12 – 23	1.1		
• 24 – 35	0.6		
• > 35	0.4		
Kejelikitan (C) (kN/m²)			
• < 6	1.9		
• 6 – 12	1.1		
• 12 – 18	0.6		
• > 18	0.4		
Pencirian Mekanik Batuan	8	Kekuatan Mampatan (s) (MPa)	
		• > 250	0.2
		• 100 – 250	0.4
		• 50 – 100	0.6
		• 25 – 50	1.0
		• < 25	1.7
		Petanda Mutu Batuan (PMB) (%)	
		• 90 – 100	0.2
		• 75 – 90	0.4
		• 50 – 75	0.6
• 25 – 50	1.0		
• < 25	1.7		

HASIL DAN PERBINCANGAN

Pengenalpastian Bencana Gelinciran Tanah (LHI)

Pengenalpastian bencana gelinciran tanah (*landslide hazard identification*-LHI) merupakan maklumat asas untuk proses penaksiran bencana atau setiap penaksiran akhir dalam penyelidikan gelinciran tanah. Secara umumnya, mana-mana keputusan pengurusan gelinciran tanah banyak bergantung kepada maklumat LHI. Pengantungan terhadap skala-skala penyelidikan dalam LHI boleh diperolehi pada suatu tahap ketepatan tertentu. Contohnya, untuk menentukan tahap bencana, penyelidikan terperinci adalah sangat penting, tetapi pada kebiasaannya memerlukan intensif masa yang lebih dan perbelanjaan yang tinggi. Teknologi analisis GIS spatial gelinciran tanah menggunakan kaedah-kaedah yang berbeza (pendekatan kualitatif ataupun kuantitatif) di mana ianya amat bergantung kepada ketersediaan data-data berkaitan dengan maklumat ruangan (contoh: geologi, tanah, guna tanah, sudut cerun).

Secara khusus, inventori gelinciran tanah adalah mementingkan keperluan data sama ada untuk keupayaannya menjalankan analisis seperti statistik ataupun untuk mengesahkan hasil keputusan seperti perhitungan berangka. Dalam kajian ini, sebanyak tujuh (7) parameter dapat dikategorikan dalam LHI; 1) litologi, 2) fitur geodinamik, 3) keadaan cerun, 4) hidrologi/hidrogeologi, 5) jenis guna tanah, 6) pencirian kejuruteraan tanah dan 7) pencirian kejuruteraan batuan. Kesemua parameter ini akan digunakan dalam kerja-kerja penganalisaan bencana gelinciran tanah (Rajah 1). Berikut diberikan segala hasil keputusan beserta perbincangannya:

Litologi

Peta litologi dihasilkan untuk menggambarkan segala maklumat tentang unit batuan utama di kawasan kajian (Rajah 2). Komposisi dan tekstur batuan yang berbeza akan mempengaruhi ketidakstabilan cerun, mempengaruhi kekuatan, kebolehtelapan dan ketahanannya terhadap proses luluhawa kimia dan fizikal. Peta ini juga mewakili latar belakang struktur tektonik kawasan kajian. Maklumat terhadap ciri-ciri struktur tektonik seperti jujukan dan jenis lipatan, perubahan litologi, satah, kekar, sesar dan lipatan amat penting dalam menjalankan kerja-kerja penganalisaan bencana gelinciran tanah. Kawasan kajian dilitupi oleh batuan dasar yang bervariasi dari segi jenis dan usianya, dari batu pasir dan syal yang berusia Akhir Eosen hingga Miosen Awal dari Formasi Crocker hinggalah sedimen alluvial muda yang berusia Kuaternari hingga resen yang masih mengalami proses pemendapan (Rodeano *et al.*, 2006). Unit batu pasir-batu lumpur-syal ini ditakrifkan sebagai unit selang lapis batu pasir dengan syal (32.3%). Ketebalan unit selang lapis ini berjulat dari 2 cm hingga 130 cm. Batu pasir ini biasanya bersaiz halus hingga ke sangat halus dan mudah pecah sementara lapisan syal bersifat tericah. Unit syal pula adalah terdiri daripada jenis syal merah dan syal kelabu. Kadang-kala syal kelabu ini sedikit berkapur. Unit syal biasanya berselanglapis dengan

batu lumpur atau batu pasir yang berbutir sangat halus. Unit syal mewakili 18.4% daripada jumlah keseluruhan unit batuan dalam Formasi Crocker. Endapan Kuaternari selalunya terdapat di kawasan tanah rendah (49.3%). Ia merupakan endapan alluvial tidak terkonsolidasi pada teres sungai dan dataran banjir yang terdiri daripada berisian baik atau buruk, mengandungi kandungan pasir, lodak dan tanah liat yang berasal daripada lapisan batuan yang terdapat di bahagian hulu sungai yang terdiri daripada lensa-lensa tidak teratur dalam pelbagai bentuk dan ketebalan. Di kawasan persisiran pantai, aluvium akan menjadi butiran lebih halus dan berselanglapis dengan delta berargilit dan strata lautan. Aluvium juga dicirikan sebagai lapisan bahan organik yang sangat nipis. Sedimen aluvium sangat nipis, mudah termampat dan berkecenderungan untuk mengalami amblesan.

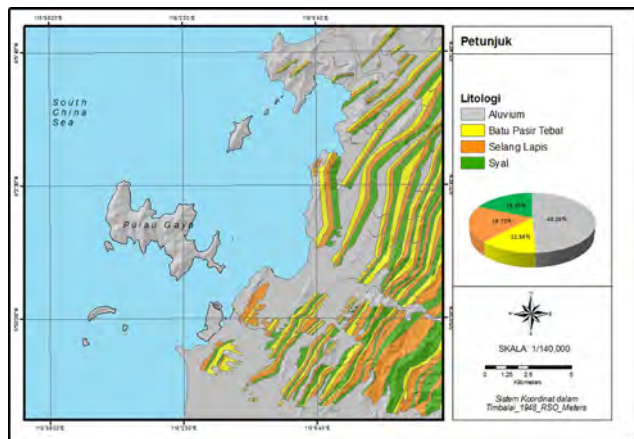
Jenis Tanah

Maklumat berkenaan jenis tanah menerangkan kepelbagaian ciri-ciri fizikal pengendapan tak terkonsolidasi. Berdasarkan kepada peta jenis tanah yang diperolehi dari Jabatan Pertanian (Sabah), asosiasi tanah di kawasan kajian boleh dikategorikan sebagai sepuluh (10) jenis asosiasi iaitu asosiasi Weston (bertekstur pasir sangat berlodak, SM; 5.5%), asosiasi Tanjung Aru (bertekstur pasir dengan sedikit

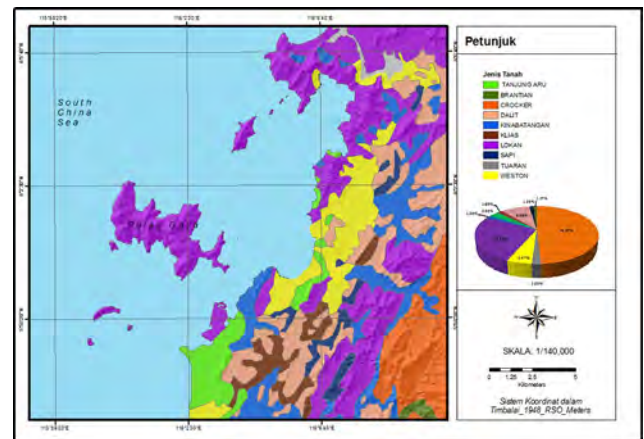
berlodak, SW; 3.0%), asosiasi Tuaran (bertekstur pasir sangat berlodak, SM; 2.0%), asosiasi Kinabatangan (bertekstur pasir sangat berlempung, SC; 1.3%), asosiasi Sapi (bertekstur gambut, Pt; 1.3%), asosiasi Klias (bertekstur organik, O; 1.7%), asosiasi Brantian (bertekstur lempung, C; 1.1%), asosiasi Dalit (bertekstur pasir sangat berlempung, SC; 8.9%), asosiasi Lokan (bertekstur pasir sangat berlodak, SM; 26.2%), dan asosiasi Crocker (bertekstur pasir berlempung, S-C; 49.1%) (Rajah 3).

Fitur Geodinamik

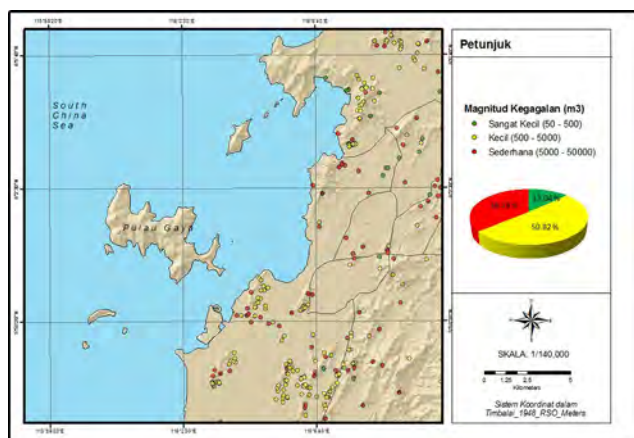
Fitur geodinamik yang terperinci menunjukkan kedudukan lokasi bagi pelbagai jenis gelinciran tanah dan geoinikator yang lain berlaku di kawasan kajian. Fitur geodinamik berkait secara langsung dengan geo-indikator yang ditakrifkan sebagai suatu ukuran proses dan fenomena geologi (magnitud, frekuensi, kadar dan arah) yang berlaku di permukaan bumi dalam masa kurang dari seratus tahun dan ia membekalkan maklumat tentang perubahan alam sekitar dan maklumat yang berguna untuk penaksiran alam sekitar (Berger, 1996). Fitur geodinamik yang ditemui di kawasan kajian adalah seperti parut, cenuram, bonjolan, retakan, resipan, batuan pecah, pokok termiring dan lain-lain lagi. Pendekatan maklumat fitur geodinamik adalah sangat berguna untuk mengkaji sebarang perubahan fizikal dan



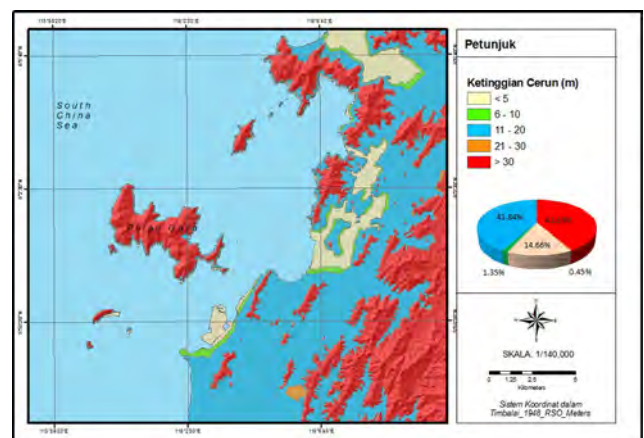
Rajah 2: Peta litologi.



Rajah 3: Peta jenis tanah.



Rajah 4: Peta lokasi taburan gelinciran tanah.



Rajah 5: Model elevasi digital (DEM).

penaksiran geologi terkini terhadap kemudahterancamannya. Ia mengkuantifikasikan segala maklumat bagi sesuatu fenomena yang kompleks. Dalam kajian ini, gelinciran tanah dikelaskan dalam pelbagai jenis, bergantung kepada bahan-bahan yang terlibat, anggaran isipadu dan kelajuan, darjah aktiviti serta tempoh perulangan; perbezaan dibuat di antara sumber dan kawasan pengendapan. Sekitar 365 lokasi gelinciran tanah telah dikenalpasti melalui kajian terdahulu, tafsiran foto udara dan kajian lapangan (Rajah 4). Jenis-jenis gelinciran tanah dikelaskan kepada beberapa jenis, 20% dari jenis jatuhan, 30% dari jenis translasi, 20% dari jenis putaran, 15% dari jenis aliran, dan 15% dari kompleks (kombinasi jatuhan, gelongsoran dan/atau aliran). Dalam skala gelinciran tanah pula, kawasan kajian berjudat kecil ($<50 \text{ m}^3$, 20%), sederhana ($50 \text{ m}^3 - 500 \text{ m}^3$, 60%) dan besar ($> 500 \text{ m}^3$, 20%).

Keadaan Cerun

Sebuah model elevasi digital (DEM) yang bergrid sel $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ dihasilkan berdasarkan kepada set data raster yang secara automatiknya diekstrak daripada peta TIN (*triangulated irregular network*). Peta TIN dihasilkan melalui penjanaan peta garisan kontur yang berselang 10 m dan berskala $1:10,000$. Antara maklumat-maklumat yang terdapat di dalam DEM ini adalah seperti fitur-fitur morfometrik (ketinggian, corak dalaman, sudut cerun, aspek, longitudinal serta transversal kelengkungan cerun dan kekasaran cerun) dan parameter hidrologi (kawasan tadahan, ketumpatan saliran, rangkaian saliran, panjang saluran, dll.). Dalam skala DEM, kawasan kajian berjudat $0 \text{ m} - 5 \text{ m}$ (14.7%), $6 \text{ m} - 10 \text{ m}$ (1.4%), $11 \text{ m} - 20 \text{ m}$ (41.8%), $21 \text{ m} - 30 \text{ m}$ (0.4%) dan $> 30 \text{ m}$ (41.7%) (Rajah 5). Dari sudut kecuraman cerun di kawasan kajian, data yang diperolehi menunjukkan bahawa 48.4% kawasan boleh dikategorikan sebagai $0^\circ - 5^\circ$, 28.4% sebagai $6^\circ - 15^\circ$, 22.4% sebagai $16^\circ - 30^\circ$, 0.8% sebagai $31^\circ - 60^\circ$ dan 0.01% sebagai melebihi 60° (Rajah 6). Kawasan yang mempunyai sudut cerun yang melebihi 30° mewakili segmen cerun yang sangat curam di kawasan kajian di mana semakin curam sesuatu cerun, semakin tinggilah darjah bencananya.

Hidrologi

Peta hidrologi yang dihasilkan adalah berdasarkan kepada keadaan nilai curahan hujan harian (keamatan jangka pendek hujan) bagi kawasan kajian (Rajah 7). Berdasarkan kepada beberapa maklumat yang telah diperolehi oleh Jabatan Metreologi Malaysia (JMM) dan Jabatan Pengairan dan Saliran Negeri Sabah, sebanyak empat (4) stesen telah dikenalpasti iaitu stesen Ulu Moyog, stesen Inanam, stesen Lapangan Antarabangsa Kota Kinabalu (KKIA) dan stesen Tuaran. Bacaan menunjukkan bahawa data curahan harian adalah berjudat sekitar 197.7 mm hingga 462.8 mm .

Hidrogeologi

Peta hidrogeologi menunjukkan taburan dan keadaan paras air bawah tanah di kawasan kajian (Rajah 8). Berdasarkan kepada hasil tafsiran foto udara dan imej satelit

yang disokong oleh data keadaan paras air bawah tanah (yang diperolehi daripada data lubang gerudi), pergerakan air larian di kawasan kajian secara relatifnya agak deras dan tinggi. Kedalamannya adalah berjudat dari 0.00 m hingga 2.93 m . Dari segi arah pergerakannya secara rantau, kebanyakan lokasi-lokasi gelinciran tanah yang telah dipetakan didapati terletak berhampiran dengan arah-arahan pergerakan air larian ini ($< 10 \text{ m}$). Ini bermaksud pergerakan air larian secara intensif ini secara langsung telah menyumbang berlakunya kejadian gelinciran tanah di kawasan kajian.

Jenis Guna Tanah

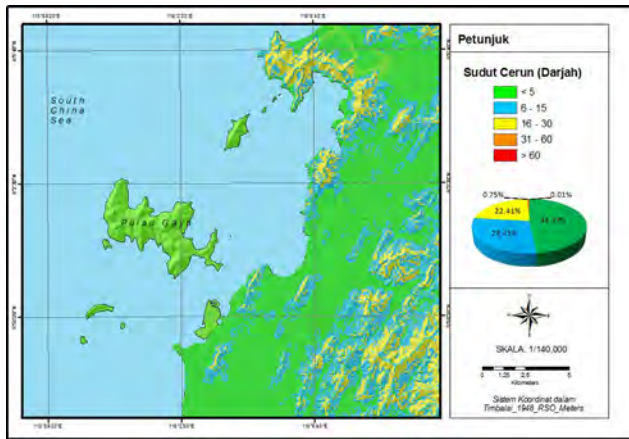
Peta jenis guna tanah menunjukkan beberapa unit sektor-sektor seperti sektor kediaman, sektor komersial, sektor infrastruktur awam, sektor perindustrian, sektor institusi pengajian tinggi dan sekolah, dan sektor pertanian, perhutanan dan lain-lain lagi (Rajah 9). Berdasarkan kepada hasil penganalisan GIS spatial yang telah dijalankan, didapati bahawa sektor pertanian, perhutanan dan lain-lain lagi meliputi kawasan terluas di kawasan kajian (53.9%). Ini diikuti oleh sektor kediaman (33.0%), sektor komersial (6.0%), jasad air (2.3%), sektor institusi pengajian tinggi dan sekolah (2.3%), sektor perindustrian (1.7%), dan sektor infrastruktur awam (0.8%). Jika dilihat dari kemajuan kepelbagaian jenis guna tanah, ini bererti kawasan kajian telah diterokai lebih daripada 70% secara keseluruhannya untuk aktiviti pembangunan ataupun pertanian. Penerokaan secara berleluasa tanpa pengawalan/penguatkuasaan terhadap aktiviti pemotongan cerun boleh mencetuskan berlakunya kejadian bencana gelinciran tanah.

Pencirian Kejuruteraan Batuan

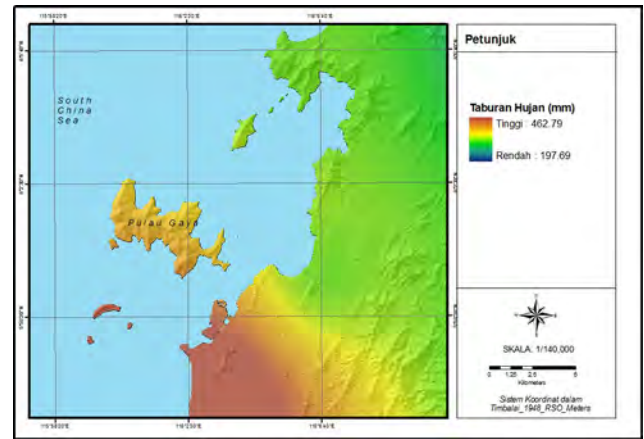
Jadual 2 menunjukkan hasil daripada analisis terperinci untuk sampel batuan. Pencirian mekanik batuan sebanyak dua puluh (20) sampel menunjukkan bahawa bahan batuan bervariasi dari sangat lemah hingga lampau kuat (indeks kekuatan beban titik adalah berjudat dari 0.04 MPa hingga 13.53 MPa dan kekuatan mampatan sepaksi adalah berjudat dari 0.96 MPa hingga 324.75 MPa). Dalam penyelidikan ini, hasil keputusan kekuatan mampatan sepaksi diperolehi daripada korelasi pendaraban 24 nilai indeks kekuatan beban titik ($UCS = 24 I_{s(50)}$) seperti yang dicadangkan oleh Bieniawski (1975). Sementara itu, nilai bagi petanda mutu batuan adalah berjudat dari 6% to 87% (sangat lemah to baik).

Pencirian Kejuruteraan Tanah

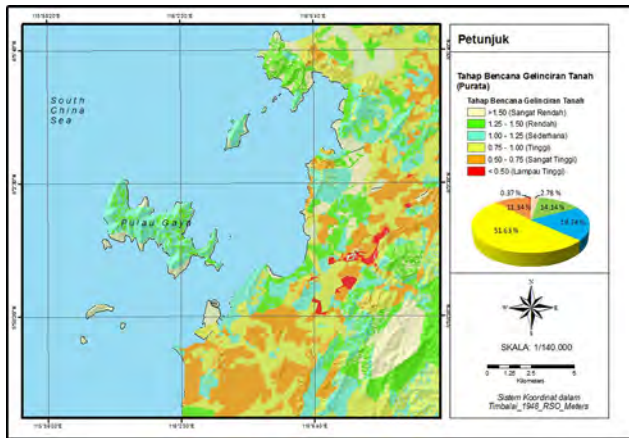
Maklumat berkenaan pencirian kejuruteraan tanah menerangkan kepelbagaian jenis dan ciri-ciri fizikal mahupun mekanikal pengendapan tak terkonsolidasi. Berdasarkan kepada peta jenis tanah yang diperolehi dari Jabatan Pertanian (Sabah), asosiasi tanah di kawasan kajian boleh dikategorikan ke dalam sepuluh (10) jenis asosiasi iaitu asosiasi Weston, asosiasi Tanjung Aru, asosiasi Tuaran, asosiasi Kinabatangan, asosiasi Sapi, asosiasi Kliis, asosiasi Brantian, asosiasi Dalit, asosiasi Lokan, dan asosiasi Crocker (Rajah 3). Keputusan hasil analisis terperinci daripada contoh



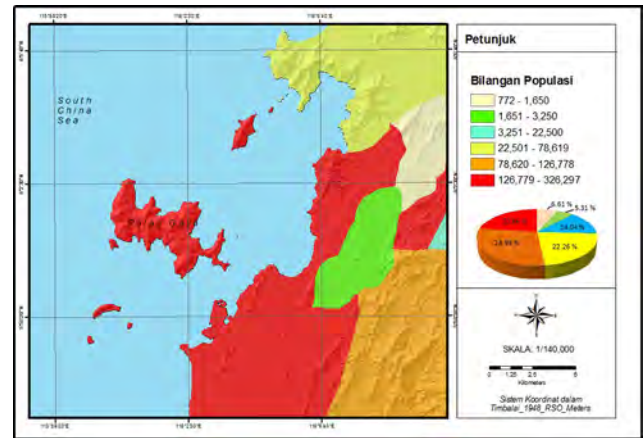
Rajah 6: Peta sudut cerun.



Rajah 7: Peta hidrologi (curahan hujan).



Rajah 8: Peta hidrogeologi (air bawah tanah).



Rajah 9: Peta jenis guna tanah.

tanah diberikan dalam Jadual 3. Sifat fizikal dan kejuruteraan tanah daripada dua puluh (20) sampel menunjukkan bahawa bahan-bahan tanah di kawasan kajian dicirikan sebagai bertenturan buruk hingga baik bagi tanah jenis berlempung hinggalah berpasir, yang ditandai dengan sifat keplastikan yang rendah hingga tinggi, mempunyai nilai ujian penusukan piawai berkisar dari lembut hingga keras (tanah kohesif) dan longgar hingga sangat padat (tanah bukan kohesif). Nilai kejeliktan (C) pula berjulat antara 3.46 kPa hingga 44.86 kPa dan sudut geseran (ϕ) berjulat dari 1.80° ke 28.47° yang dicirikan sebagai berkekuatan ricih tak tersalir yang sangat lembut hingga kukuh (13.98 kN/m² to 163.18 kN/m²).

Analisis Bencana

Setelah kesemua peta-peta tematik pengenalan bencana (LHIM) (seperti peta litologi, peta jenis tanah, peta sudut cerun, peta hidrologi (curahan hujan), peta hidrogeologi (paras air bawah tanah, dll.) dihasilkan, parameter-parameter ini akan disusun dan dianalisis untuk menghasilkan peta tematik baru yang dikenali sebagai peta bencana gelinciran tanah (*landslide hazard map*, LHM) (Rajah 10). Dalam terma LHM, hasil analisis bagi kawasan Kota Kinabalu mencadangkan 2.8% daripada keseluruhan kawasan dikategorikan sebagai bencana sangat rendah, 14.1% sebagai bencana rendah, 19.7% sebagai bencana

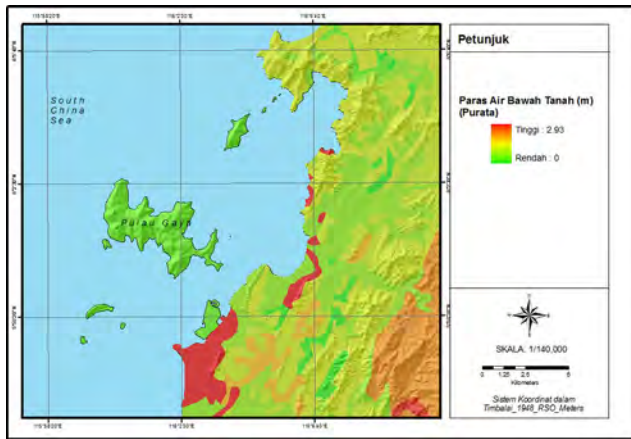
sedehana, 51.6% sebagai bencana tinggi, 11.3% sebagai bencana sangat tinggi dan 0.4% sebagai bencana lampau tinggi. Secara umumnya, kawasan bencana sangat rendah hingga bencana rendah merujuk kepada kawasan cerun yang mendatar atau sederhana curam (< 25°). Sebaliknya, kawasan bencana tinggi hingga bencana sangat tinggi mewakili segmen cerun yang curam (> 25°) sebahagian besarnya dilitupi oleh bangunan-bangunan ataupun kawasan pertanian. Hasil daripada keputusan ini menekankan kepentingan potensi kesan gelinciran tanah di kawasan kajian, yang boleh dianggap mewakili keseluruhan daerah Kota Kinabalu.

Analisis Risiko

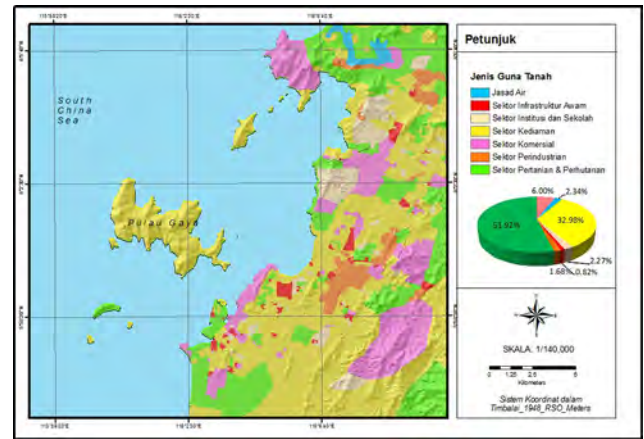
Kemudahterancaman

Kemudahterancaman yang diambil kira dalam kertas kerja ini adalah kemudahterancaman fizikal bagi elemen berisiko. Kemudahterancaman fizikal ditakrifkan sebagai kemudahterancaman harta benda yang terdedah kepada ancaman gelinciran tanah dan ia merupakan salah satu komponen penting dari penilaian konsekuensi GIS spatial seperti yang ditunjukkan di dalam persamaan di bawah:

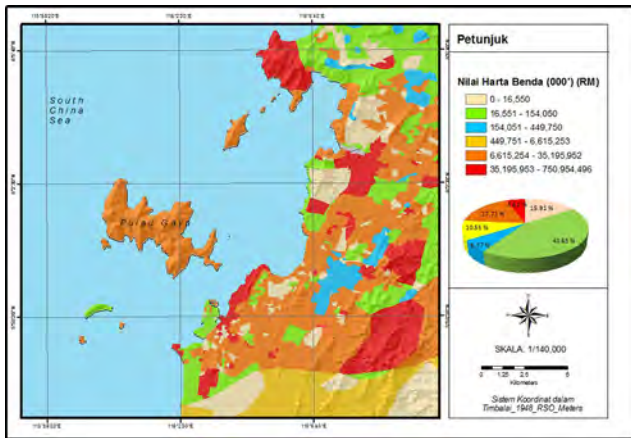
$$\text{Risiko} = (\text{Kemungkinan gelinciran}) \times (\text{Kebarangkalian impak spatial}) \times (\text{Kebarangkalian temporal}) \times (\text{Kemudahterancaman}) \times (\text{Elemen Berisiko}) \text{ — (1)}$$



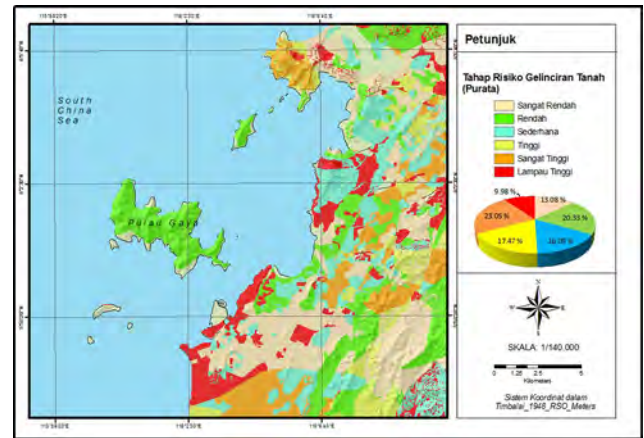
Rajah 10: Peta keputusan analisis bencana gelinciran tanah.



Rajah 11: Peta populasi.



Rajah 12: Peta nilai harta benda.



Rajah 13: Peta keputusan analisis risiko gelinciran tanah.

Jadual 2: Keputusan analisis sampel batuan.

Lokasi Cerun	RS1	RS2	RS3	RS4	RS5	RS6	RS7
Koordinat	6°1'16.60"U/ /116°6'45.64"T	5°56'23.85"U/ /116°3'27.37"T	5°58'18.41"U/ /116°4'37.13"T	5°59'13.81"U/ /116°4'37.04"T	5°58'31.61"U/ /116°4'10.30"T	6°6'59.46"U/ /116°9'53.46"T	5°56'50.70"U/ /116°5'44.11"T
Litologi	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal
Gred Luluhawa	II to V	IV to V	III to V	III to IV	III to IV	III to IV	III to IV
Petanda Mutu Batuan (RQD) (%)	9 – 87	13 – 34	6 – 63	38 – 77	12 – 65	15 – 35	12 – 28
Indeks Kekuatan Beban Titik, Is(50)	0.42 – 4.80	1.04 – 5.20	3.12 – 11.45	8.33 – 13.53	0.22 – 1.76	0.81 – 3.67	0.62 – 2.39
Kolerasi Kekuatan Mampatan Sepaksi, UCS = 24 Is(50) (MPa)	10.19 – 115.20	24.99 – 124.90	74.94 – 274.79	199.85 – 324.75	5.28 – 42.24	19.44 – 88.08	14.88 – 57.36
Lokasi Cerun	RS8	RS9	RS10	RS11	RS12	RS13	RS14
Koordinat	5°55'10.06"U/ /116°6'51.31"T	5°55'2.07"U/ /116°5'41.20"T	5°58'11.14"U/ /116°5'29.89"T	5°55'56.11"U/ /116°7'1.67"T	6°2'40.14"U/ /116°9'26.51"T	6°0'16.50"U/ /116°7'51.67"T	6°6'7.09"U/ /116°10'29.69"T
Litologi	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal
Gred Luluhawa	III to IV	IV to V	III to IV	III to IV	III to IV	III to V	II to IV
Petanda Mutu Batuan (RQD) (%)	18 – 38	10 – 25	12 – 43	17 – 31	18 – 45	5 – 25	16 – 86
Indeks Kekuatan Beban Titik, Is(50)	0.08 – 1.12	0.04 – 0.16	0.76 – 4.40	0.12 – 0.44	0.04 – 0.32	1.04 – 5.20	0.10 – 0.73
Kolerasi Kekuatan Mampatan Sepaksi, UCS = 24 Is(50) (MPa)	1.92 – 26.88	0.96 – 3.84	18.24 – 105.60	2.88 – 10.56	0.96 – 7.68	24.99 – 124.90	2.40 – 17.52
Lokasi Cerun	RS15	RS16	RS17	RS18	RS19	RS20	
Koordinat	5°55'10.27"U/ /116°3'39.42"T	6°7'15.00"U/ /116°12'30.38"T	6°0'56.04"U/ /116°7'36.55"T	6°0'27.16"U/ /116°8'54.60"T	6°0'26.38"U/ /116°7'49.42"T	5°58'26.97"U/ /116°4'55.00"T	
Litologi	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	Selang lapis batu pasir & syal	
Gred Luluhawa	III to V	III to IV	IV to V	III to IV	III to V	II to IV	
Petanda Mutu Batuan (RQD) (%)	8 – 50	12 – 35	10 – 20	22 – 55	15 – 40	12 – 37	
Indeks Kekuatan Beban Titik, Is(50)	0.14 – 0.52	0.38 – 7.68	0.55 – 2.89	1.35 – 2.71	0.48 – 1.25	1.04 – 10.41	
Kolerasi Kekuatan Mampatan Sepaksi, UCS = 24 Is(50) (MPa)	3.36 – 12.48	9.12 – 184.32	13.20 – 69.36	32.48 – 64.95	11.52 – 30.00	24.98 – 249.81	

Elemen Berisiko

Elemen berisiko dalam kertas kerja ini merujuk kepada nilai harta benda dan bilangan populasi. Terdapat banyak pendekatan sedia ada untuk menaksir sesuatu elemen berisiko sama ada maklumat yang berasaskan objek ataupun maklumat serantau bergantung kepada ketersediaan data yang diperlukan seperti maklumat terperinci mengenai barangan isian rumah, struktur bangunan, nilai harta benda, dll. Sebaliknya, adalah menjadi tugas yang berat untuk menetapkan nilai purata kewangan bagi setiap kerosakan kelas-kelas elemen berisiko seperti sektor perindustrian, sektor kediaman, sektor pertanian serta sektor infrastruktur awam seperti jalan raya, kereta api, bekalan air, pembuangan sisa, dll. Konsekuensi sosial dan psikologi kesan daripada kejadian gelinciran tanah juga harus dipertimbangkan ketika mengkaji kesemua elemen berisiko ini. Dengan demikian, elemen berisiko dapat ditentukan oleh hasil kerja lapangan yang lebih terperinci termasuklah kerja-kerja soal selidik secara meluas untuk menaksir segala maklumat yang berasaskan objek dan proses mendapatkan maklumat serantau dari sumber-sumber yang lain seperti statistik rasmi.

Dalam kajian ini peta elemen berisiko yang dihasilkan adalah peta populasi (PM, Rajah 11) dan peta nilai harta benda (PVM, Rajah 12). Berdasarkan kepada Rajah 11, populasi penduduk di kawasan kajian dibahagikan mengikut daerah pentadbirannya iaitu kawasan Bandaraya Kota Kinabalu, kawasan Tuaran dan kawasan Penampang. Kawasan Bandaraya Kota Kinabalu dianggarkan mempunyai populasi yang tertinggi iaitu sebanyak 457,661 orang diikuti oleh kawasan Penampang sebanyak 170,357 orang dan kawasan Tuaran sebanyak 104,659 orang. Kadar peningkatan penduduk di kawasan kajian dianggarkan kira-kira 30% hingga 50% bagi setiap 10 tahun (Tahun 1980: 195,097, Tahun 1991: 360,111, Tahun 2000: 563,597 & Tahun 2008: 732,677) (Jabatan Perangkaan Malaysia, 2008). Keadaan ini menunjukkan bahawa elemen - elemen yang berisiko (penduduk, kenderaan, kemudahan infrastruktur dan harta benda) akan terus meningkat. Sekiranya suatu pendekatan sistem pengurusan risiko gelinciran tanah masih tidak diperkenalkan atau dipraktikkan, maka kadar kemudahterancaman penduduk akan juga turut meningkat dengan drastiknya. Kesan daripada senario ini secara tidak langsungnya akan turut memberi tekanan peningkatan peruntukan belanjawan kepada pihak kerajaan amnya disebabkan oleh tuntutan kos-kos pembaikpulihan atau penyelenggaraan dan bantuan kemanusiaan bagi kawasan-kawasan yang terancam.

Dalam terma peta nilai harta benda (PVM) seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 12, nilai harta tanah yang ditaksir dibahagikan mengikut latar belakang jenis guna tanahnya. Sebanyak empat (4) sektor guna tanah yang utama diambil kira dalam kertas kerja ini iaitu sektor kediaman, sektor komersial, sektor perindustrian dan sektor pertanian, perhutanan dan lain-lain. Berdasarkan kepada hasil keputusan GIS ruangan yang telah dijalankan, adalah didapati bahawa sektor komersial mencatatkan nilai harta yang tertinggi iaitu sebanyak RM751,125 juta diikuti oleh

sektor kediaman RM42,261 juta, sektor perindustrian RM604 juta dan sektor pertanian, perhutanan dan lain-lain RM212 juta.

Penganggaran Risiko

Dalam terma penganggaran risiko gelinciran tanah, peta risiko gelinciran tanah (LRiM) akan dihasilkan daripada pertindanan peta-peta LHM dengan PM dan PVM (Rajah 13). Keputusan LRiM menunjukkan bahawa 13.1% daripada kawasan ini adalah dalam zon berisiko sangat rendah, 20.3% dalam zon berisiko rendah, 16.1% dalam zon berisiko sederhana, 17.5% dalam zon berisiko tinggi, 23.1% dalam zon berisiko sangat tinggi dan 1.0% dalam zon berisiko lampau tinggi. Dalam proses menilai analisis risiko gelinciran tanah, mekanisma gelinciran tanah berkemungkinan tampil dalam pelbagai bentuk dan ancaman. Disebabkan oleh perkara ini, pendekatan kuantitatif secara total menjadi tidak praktikal. Hal ini demikian kerana bukan mudah untuk menentukan nilai bagi sesuatu magnitud, kekerapan dan bentuk-bentuk evolusi gelinciran tanah di kawasan kajian, dan sebuah katalog terperinci yang lengkap dengan peristiwa-peristiwa bersejarah berkenaan kejadian gelinciran tanah bukan mudah untuk diperolehi. Oleh yang demikian, pendekatan semi-kuantitatif yang dicadangkan dapat dijalankan bagi mewujudkan analisis secara berperingkat terhadap risiko gelinciran tanah di kawasan kajian ini. Keadaan ini melibatkan rekebentuk senario gelinciran tanah. Satu langkah alternatif yang munasabah untuk pendekatan semi-kuantitatif sebegini diperlukan bagi menganalisis impak gelinciran tanah yang sedang berlaku atau mungkin berlaku. Untuk mencapai matlamat ini, terdapat dua kaedah yang boleh dilaksanakan. Pertama, sebuah katalog rekod sejarah gelinciran tanah dan kesan akibatnya perlu disediakan, tempat-tempat berulang kali terjejas oleh kejadian katastropik boleh ditentukan dan kemudahterancaman elemen berisiko dipastikan (Kong, 2002). Kedua sebagai alternatif, LDM beserta PM atau PVM (manusia, rumah, bangunan, infrastruktur, dll) yang lengkap amatlah diperlukan. Operasi aplikasi ini membolehkan seseorang untuk menentukan di mana kedudukan gelinciran tanah yang boleh mengganggu-gugat sesuatu risiko. Walaupun secara relatifnya mudah-dan keberkesanan-analisis tersebut, ianya tidak lazim dilakukan.

Penilaian Risiko

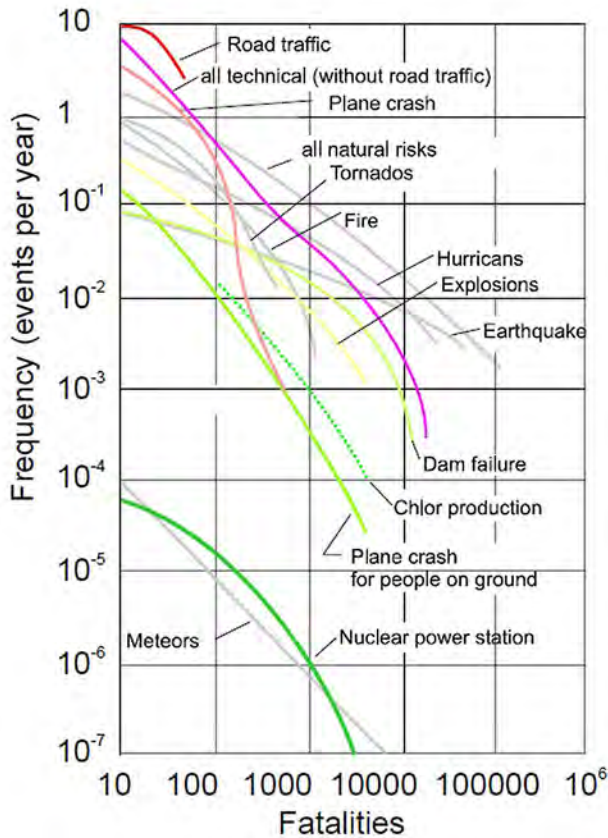
Sebahagian daripada prosedur penilaian risiko gelinciran tanah adalah untuk memilih kriteria penerimaan risiko. Untuk membezakannya, lekung "F-N" biasanya digunakan (Rajah 14). Lekung F-N ini berkaitan dengan kebarangkalian tahunan yang boleh menyebabkan n atau lebih kematian (F) terhadap jumlah kematian secara keseluruhan, N. Ini adalah fungsi taburan kumulatif yang saling melengkapi. Terma "N" dapat digantikan dengan pengukuran kuantitatif lain bagi sesuatu konsekuensi. Sebagai contoh lengkung ini boleh digunakan untuk menerangkan risiko kemasyarakatan dan menjelaskan tahap keselamatan bagi kemudahan tertentu. Berdasarkan kepada Rajah 14, risiko buatan manusia lebih cenderung memiliki lengkung yang curam daripada bencana

Jadual 3. Keputusan analisis sampel tanah.

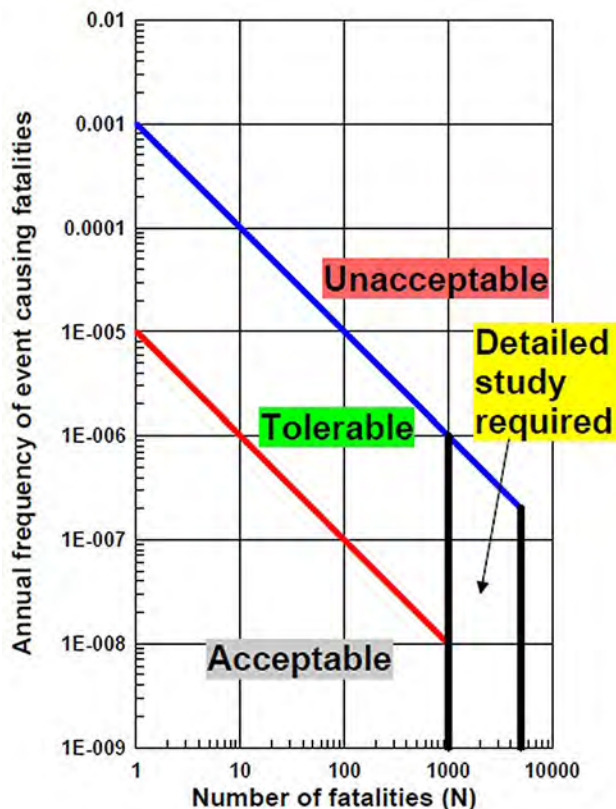
Lokasi Cerun	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS7	SS8
Koordinat	6°1'16.60"U /116°6'45.64"T	5°56'23.85"U/ 116°3'27.37"T	5°58'18.41"U/ 116°4'37.13"T	5°59'13.81"U/ 116°4'37.04"T	5°58'31.61"U/ 116°4'10.30"T	6°6'59.46"U/ 116°9'53.46"T	5°55'50.70"U/ 116°5'44.11"T	5°55'10.06"U/ 116°6'51.31"T
Asosiasi Tanah (s)	Weston	Dalit	Kinabatangan	Sapi	Lokan	Tuaran	Klias	Tanjung Aru
Pengelasan (BS5930)	SM	CL	CH	CL	CL	SM	SC	SM
Gred Luluhawa	V to VI	V to VI	V to VI	V to VI	V to VI	V to VI	V to VI	V to VI
Ujian Oenusukan Piawai (N)	36 – 50	11 – 50	3 – 50	9 – 15	5 – 14	1 – 15	9 – 29	9 – 23
Lempung (0.002 mm)	7 – 18	50	10 – 16	29 – 67	41 – 55	5 – 15	10 – 22	20 – 24
Lodak(0.002 - 0.0063 mm)	10 – 20	31	6 – 10	10 – 30	20 – 30	10 – 24	17 – 25	20 – 22
Pasir (0.0063 – 2 mm)	18 – 62	13	33 – 50	3 – 60	14 – 35	60 – 80	44 – 72	47 – 90
Gravel (2 – 63 mm)	1 – 60	6	24 – 64	0 – 7	1 – 4	1 – 15	1 – 24	1 – 13
Had Cecair (LL) (%)	-	48	33 – 50	29 – 47	42 – 44	-	-	-
Had Plastik (PL) (%)	-	23	16 – 26	17 – 26	20 – 24	-	-	-
Indeks Keplastikan (PI) (%)	-	25	17 – 24	12 – 21	20 – 22	-	-	-
Kejelikitan, C (kN/m ²)	12.43	14.25	3.92 – 9.81	6.82 – 21.62	13.71	18.31 – 33.98	12.30	10.4 – 10.6
Sudut Geseran (°)	15.86	20.60	21.20 – 28.47	2.47 – 3.43	17.90	1.80 – 3.89	26.70	3.39 – 15.30
Kekuatan Ricih Tak Tersalir (t) (kN/m ²)	97.66	89.43	81.49 – 118.27	15.45 – 33.61	78.31	27.74 – 54.38	163.18	28.17 – 92.67
Lokasi Cerun	SS9	SS10	SS11	SS12	SS13	SS14	SS15	SS16
Koordinat	5°55'2.07"U /116°5'41.20"T	5°58'11.14"U/ 116°5'29.89"T	5°55'56.11"U/ 116°7'1.67"T	6°2'40.14"U/ 116°9'26.51"T	6°0'16.50" U/ 116°7'51.67"T	6°6'7.09"U/ 116°10'29.69"T	5°55'10.27"U/ 116°3'39.42"T	6°7'15.00"U/ 116°12'30.38"T
Asosiasi Tanah (s)	Lokan	Brantian	Brantian	Klias	Kinabatangan	Crocker	Tanjung Aru	Weston
Pengelasan (BS5930)	CL	SM	SM	SC	CH	CH	SM	SM
Gred Luluhawa	V to VI	V to VI	V to VI	V to VI	V to VI	V to VI	V to VI	V to VI
Ujian Oenusukan Piawai (N)	5 – 42	7 – 13	2 – 16	9 – 15	3 – 33	18 – 49	6 – 30	2 – 23
Lempung (0.002 mm)	41 – 45	18 – 20	11 – 17	13 – 15	27 – 64	33 – 49	1 – 15	2 – 28
Lodak(0.002 - 0.0063 mm)	20 – 26	24 – 28	10 – 20	20 – 22	20 – 30	30 – 38	1 – 26	2 – 20
Pasir (0.0063 – 2 mm)	3 – 39	46 – 50	51 – 79	57 – 63	6 – 51	4 – 41	56 – 94	14 – 20
Gravel (2 – 63 mm)	1 – 3	2 – 12	1 – 17	4 – 7	1 – 3	0 – 6	0 – 10	1 – 7
Had Cecair (LL) (%)	33 – 49	-	-	-	54 – 56	28 – 65	-	-
Had Plastik (PL) (%)	15 – 20	-	-	-	21 – 27	16 – 31	-	-
Indeks Keplastikan (PI) (%)	18 – 29	-	-	-	29 – 33	12 – 34	-	-
Kejelikitan, C (kN/m ²)	9 – 13.1	12.00	9.40	5.81 – 9.57	13.42 – 15.72	9.96 – 19.27	4.95 – 15.99	1.67 – 9.36
Sudut Geseran (°)	5.2 – 11.1	13.46	14.52	7.46 – 24.26	4.51 – 6.01	3.13 – 16.80	8.31 – 17.85	4.27 – 7.64
Kekuatan Ricih Tak Tersalir (t) (kN/m ²)	27.20 – 52.34	83.80	87.10	45.09 – 144.77	29.20 – 36.78	20.89 – 79.65	48.77 – 112.60	24.07 – 49.60
Lokasi Cerun	SS17	SS18	SS19	SS20				
Koordinat	6°0'56.04"U/ 116° 7'36.55"T	6°0'27.16"U/ 116° 8'54.60"T	6°0'26.38"U/ 116°7'49.42"T	5°58'26.97"U/ 116°4'55.00"T				
Asosiasi Tanah (s)	Dalit	Sapi	Tuaran	Crocker				
Pengelasan (BS5930)	CL	CL	SM	CL				
Gred Luluhawa	V to VI	V to VI	V to VI	V to VI				
Ujian Oenusukan Piawai (N)	2 – 20	16 – 50	3 – 16	3 – 39				
Lempung (0.002 mm)	34 – 40	27 – 60	6 – 12	49 – 52				
Lodak(0.002 - 0.0063 mm)	20 – 34	20 – 30	6 – 10	20 – 40				
Pasir (0.0063 – 2 mm)	26 – 45	9 – 43	76 – 86	8 – 30				
Gravel (2 – 63 mm)	0 – 1	1 – 15	1 – 4	0 – 1				
Had Cecair (LL) (%)	28 – 33	34 – 46	-	27 – 36				
Had Plastik (PL) (%)	15 – 17	14 – 18	-	15 – 21				
Indeks Keplastikan (PI) (%)	13 – 16	20 – 28	-	12 – 15				
Kejelikitan, C (kN/m ²)	13.95 – 14.58	42.89 – 44.86	4.70 – 8.46	3.46 – 11.95				
Sudut Geseran (°)	3.81 – 4.15	4.44 – 4.78	2.22 – 6.86	3.01 – 7.54				
Kekuatan Ricih Tak Tersalir (t) (kN/m ²)	27.27 – 29.09	58.42 – 61.58	20.09 – 40.79	13.98 – 38.42				

alam (Proske, 2004 dlm: Lacasse & Nadim, 2006). Adalah penting dan jelas bahawa lengkung F-N ini memberikan pengamatan statistik dan bukannya batasan bagi peringkat boleh-terima atau tolerabiliti. Hal ini juga penting untuk menjelaskan maksud sebenar tahap penerimaan dan toleransi terhadap risiko sama ada penduduk berisiko mahupun pihak yang berkuasa tempatan (Lacasse & Nadim, 2006). Risiko kemasyarakatan terhadap kriteria kehidupan secara realitinya mencerminkan bahawa masyarakat kurang toleran terhadap peristiwa yang melibatkan sejumlah besar nyawa terkorban di dalam sesuatu peristiwa, berbanding dengan jumlah bilangan mangsa yang sama terkorban tetapi berlaku secara berasingan. Sebagai contoh masyarakat umum lebih mengutamakan kematian yang berlaku pada jumlah yang besar disebabkan oleh nahas kapal terbang berbanding dengan nahas lalu lintas. Rajah 15 memberikan sebuah contoh untuk kriteria risiko di kawasan cerun semulajadi seperti yang dicadangkan dan diguna-pakai di negara Hong Kong

bagi membantu pengurusan risiko gelinciran tanah (GEO, 1998). Berdasarkan kepada Rajah 15 ini, tolerabiliti risiko merujuk kepada peringkat risiko yang tidak memerlukan sebarang pengurangan atau pengubahsuaian secara lebih lanjut. Risiko tolerabel, dalam hal yang berlainan, menerangkan tahap bagi sesuatu risiko yang berkompromi untuk mendapatkan manfaat tertentu. Pembinaan dalam tahap risiko boleh-diterima tidak memerlukan sebarang tindakan/pengurangan perbelanjaan (Lacasse & Nadim, 2006). Pembinaan yang terletak di antara tahap risiko dengan boleh-terima memerlukan suatu pengawalan yang tepat dan pengurangan/perawatan risiko diperlukan. Risiko yang berada di atas ambang tertentu (A) dianggap tidak boleh-terima, sementara di bawah ambang batas yang lain (B) yang dianggap sangat kecil dianggap boleh-terima (Lee & Jones, 2004). Sekiranya pengiraan risiko terletak antara A dan B, maka ia harus dikurangkan ke peringkat “serendah cukup berasalan praktikal” (*as low as reasonably*



Rajah 15: Kriteria risiko bagi elemen berisiko yang terletak di kawasan lereng bukit semulajadi.



Rajah 14: Lekungan F-N oleh Proske (2006).

Jadual 4. Konsep bagi “kriteria boleh-terima” untuk penyelidikan LRA.

No.	Istilah risiko	Definisi
1	Boleh-terima	Tahap pencapaian yang dikehendaki oleh masyarakat
2	Tolerabel	Tahap masyarakat menerima untuk tinggal secara selamat dengan jaminan
3	Individu	Pendedahan terhadap individu
4	Kemasyarakatan	Pendedahan terhadap masyarakat secara keseluruhan
5	Suka rela	Suka rela risiko berhadapan dengan keuntungan yang diperolehi
6	Bukan suka rela	Jasad yang terdedah terhadap risiko
7	Spesifik	Elemen spesifik dalam risiko
8	Jumlah	Jumlah risiko spesifik

practicable-ALARP). Jadual 4 mendefinikan risiko dalam kriteria penerimaan pada situasi yang berbeza. Tahap kebolehterimaan risiko bergantung kepada beberapa faktor seperti: situasi sukarela vs bukan sukarela, kebolehkawalan vs ketidakkawalan, kebiasaan vs ketidakkabiasaan, kesan jangka pendek/panjang, kewujudan alternative lain, jenis dan sifat semulajadi konsekuensi, mendapatkan manfaat, liputan media, ketersediaan maklumat, penglibatan peribadi, memori, dan tahap kepercayaan (Osei *et al.*, 1997). Tahap risiko sukarela cenderung lebih tinggi berbanding dengan tahap risiko bukan sukarela. Setelah risiko berada di bawah kawalan peribadi, keadaan ini dikatakan lebih boleh-terima berbanding dengan risiko yang dikendalikan oleh pihak lain. Untuk kes penyelidikan gelinciran tanah, cerun-cerun semulajadi dan buatan boleh dianggap sebagai risiko sukarela dan bukan sukarela. Masyarakat yang pernah berhadapan dengan kejadian gelinciran tanah mungkin mempunyai tahap penerimaan risiko yang berbeza berbanding sebaliknya. Kepekaan maklumat masyarakat dapat memberikan kesedaran awam yang lebih baik dalam menghadapi sesuatu bencana alam (Lacasse & Nadim, 2006).

KESIMPULAN

Berdasarkan kepada maklumat yang sedia ada, beberapa kesimpulan berikut boleh diberikan hasil daripada penyelidikan ini:

Dalam terma LHM, hasil analisis bagi kawasan Kota Kinabalu mencadangkan 2.8% daripada keseluruhan kawasan dikategorikan sebagai bencana sangat rendah, 14.1% sebagai bencana rendah, 19.7% sebagai bencana sederhana, 51.6% sebagai bencana tinggi, 11.3% sebagai bencana sangat tinggi dan 0.4% sebagai bencana lampau tinggi. Manakala dalam terma risiko gelinciran tanah, LRiM menunjukkan bahawa 13.1% daripada kawasan ini adalah dalam zon berisiko sangat rendah, 20.3% dalam zon berisiko rendah, 16.1% dalam zon berisiko sederhana, 17.5% dalam zon berisiko tinggi, 23.1% dalam zon berisiko sangat tinggi dan 1.0% dalam zon berisiko lampau tinggi. Kawasan-kawasan dalam zon bencana rendah tidak bermaksud berisiko rendah terhadap gelinciran tanah, dan begitu juga sebaliknya.

Manfaat penyelidikan ini adalah memberikan pemahaman dan pilihan untuk membuat keputusan dalam menangani masalah-masalah praktikal. Faedah-faedah yang dimaksudkan termasuklah:

Ia menggalakkan rasional, pendekatan sistematik bagi menaksir keselamatan cerun-cerun, dan rangka kerja yang dihasilkan dapat meletakkan ketidakpastian dan penilaian kejuruteraan ke dalam suatu sistem dan membenarkan perbandingan bencana dan risiko untuk cerun berbeza.

Ia menumpukan perhatian atau apa yang akan terjadi jika sesuatu cerun itu gagal, liabiliti dan tanggungjawab pihak yang terbabit, menyediakan satu proses yang telus dan terbuka terhadap sifat dan penyumbang kunci risiko dan ketidakpastian untuk perbincangan dengan regulator, pemilik-pemilik, pemegang saham, dan lain-lain.

Ia meningkatkan kesedaran akan menimbangkan ketidakpastian, dan ramalan mengenai apa yang boleh menjadi kesalahan dan potensi konsekuensinya.

PENGHARGAAN

Jutaan terima kasih yang tidak terhingga diucapkan kepada pihak-pihak Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), dan Universiti Malaysia Sabah (UMS) di atas kemudahan penggunaan peralatan kajian di makmal dan di lapangan serta Kementerian Pengajian Tinggi (KPT) atas tajaan biasiswa Skim Latihan Akademik Bumiputera (SLAB) kepada penulis pertama yang banyak membantu dari segi kewangan di sepanjang kajian ini dijalankan. Penghargaan yang tertinggi juga diberikan kepada KPT di atas anugerah geran penyelidikan fundamental (FRG0258/SS2-2010) bagi membiayai segala kos penyelidikan.

RUJUKAN / REFERENCES

- Australian Geomechanics Society (AGS), 2000. Landslide risk management concepts and guidelines. Australian Geomechanics Society, Sub-Committee on Landslide Risk Management, Australian Geomechanics, 35, 49-92.
- Aleotti, P. & Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: Summary review and new perspective. *Bull. of Eng. Geol. and Env.*, 58, 21-44.
- Atkinson, P.M. & Massari, R., 1998. Generalized linear modeling of susceptibility to landsliding in the central Apennines, Italy. *Computers and Geosciences*, 24(4), 373-385.
- Baeza, C. & Corominas, J., 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26:1251-63.
- Barredo, J.I., Benavides, A., Hervas, J. & Van Westen, C.J., 2000. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain, *ITC Journal* 2000, Issue 1, 9-23.
- Bieniawski, Z. T., 1975. The point load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, 9, 1 - 11.
- Berger, A.R., 1996. The geointicator concept and its application: an introduction. In: Berger, A.R. & Iams, W.J. (eds). *Geointicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Balkema, Rotterdam. 1-14.
- Binaghi, E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani, F. & Rampini, A., 1998. Slope instability zonation: A comparison between certainty factor and fuzzy Dempster-Shafer approaches. *Natural Hazards*, 17, 77-97.
- British Standard BS 1377, 1990. *Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes*. London: British Standard Institution.
- Cardinali, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Antonini, G., Galli, M., Cacciano, M., Castellani, M. & Salvati, P., 2002. A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2, 57-72.
- Champati Ray, P. K., Suvarna Dimri, R., Lakhera C. & Santosh Sati, 2007. Fuzzy-based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya. *Landslides*, 4, 101-111.
- Chung, C.J., Fabbri, A. & Van Westen, C.J., 1995. Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation. In: A. Carrara & F. Guzzetti (eds), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Kluwer Publications, Dordrecht, The Netherlands. 107-133.
- Chung, C.F. & Fabbri, A.G., 1999. Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65(12), 1389-1399.
- Chung, C.J. & Fabbri, A., 2003. Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Natural Hazards*, 30 (3), 451 - 472.
- Clerici, A., 2002. A GRASS GIS based Shell script for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Open Source Free Software GIS - GRASS users conference 2002*. Trento, Italy, 11-13th September 2002. 1-17.
- Crosta, G.B. & Dal Negro, P. 2003. Observations and modelling of soil slip-debris flow initiation processes in pyroclastic deposits: the Sarno 1988 event. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3(1-2), 53-69.
- Crozier, M.J. & Glade, T., 2005. *Landslide Hazard and Risk: Issues, Concepts and Approach*. In: Glade, T., Anderson, M. & Crozier, M.J. (eds.). *Landslide Hazard and Risk*, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 1-40.
- Cruden, D. & Fell, R. 1997. *Landslide risk assessment - Proceedings of the Workshop on Landslide Risk Assessment*, Honolulu, Hawaii, USA, 19-21 February 1997. A.A. Balkema, Rotterdam & Brookfield. 384 P.
- Dai, F.C., Lee C.F. & Xu, Z.W., 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environ. Geol.*, 40(3), 381-391.
- Dai, F.C. & Lee C.F., 2002. Landslide Characteristics and Slope Instability Modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42, 213 - 228.
- Dai, F.C., Lee, C.F. & Ngai, Y.Y., 2002. Landslide risk assessment and management: an overview. *Engi. Geol.*, 64, 65-87.
- Dehn, M., 1999. Application of an analog downscaling technique to the assessment of future landslide activity - a case study in the Italian Alps. *Climate Research*, 13, 103-113.
- Dietrich, W.E., Reiss, R., Hsu, M.L. & Montgomery, D.R., 1995. A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data. *Hydrological Process*, 9, 383-400.
- Ercanoglu, M & Gokceoglu, C., 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Env. Geol.*, 41, 720-30.
- Fell, R., 1994. Landslide risk assessment and acceptable risk. *Canadian Geotechnical Journal*, 31, 261-72.
- Fell, R. & Hartford, D., 1997. *Landslide risk management*. Cruden, D.M. & Fell, R. (eds.). *Landslide risk assessment - Proc. of the Workshop on Landslide Risk Assessment*, Honolulu, Hawaii,

- USA, 19-21 February 1997. Rotterdam: A.A. Balkema, 51-109.
- Fell, R., Ho, K.K.S., Lacasse, S. & Leroi, E., 2005. A framework for landslide risk assessment and management - State of the Art Paper 1. In: Hungr, Fell, Couture & Eberhardt (eds.) *Landslide Risk Management*. Taylor & Francis Group, London, 3-25.
- Fernández-Steegeer, T.M., Rohn, J. & Czurda, K., 2002. Identification of landslide areas with neural nets for hazard analysis. In: Rybár J, Stemberk J and Wagner P (eds.) *Landslides*, 24-26 June 2002. Prague, Czech Republic, A.A. Balkema, 163-8.
- Finlay, P.J., Mostyn, G.R. & Fell, R., 1999. Landslide risk assessment: prediction of travel distance. *Canadian Geotechnical Journal*, 36, 556-62.
- Frattini, P. & Crosta, G.B., 2002. Modelling the impact of forest management changes on landslide occurrence. In: McInnes RG & Jakeways J (eds.) *Instability Planning and Management*. Isle of Wight, Thomas Telford, 257-64.
- Geotechnical Engineering Office (GEO), 1998. *Landslides and Boulder Falls from Natural Terrain: Interim Risk Guidelines*. GEO Report 75, Geotechnical Engineering Office, Government of the Hong Kong Special Administrative Region.
- Guzzetti, F., 2000. Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy. *Eng. Geol.*, 58 (2), 89-107.
- 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.
- Hardingham, A.D., Ditchfield, C.S., Ho, K.K.S. & Smallwood, A.R.H., 1998. Quantitative risk assessment of landslide: a case history from Hong Kong. In: Li, K.S., Kay, J.N. & Ho, K.K.S. (eds.) *Slope Engineering in Hong Kong*, Hong Kong, A.A. Balkema, 145-151.
- Hearn, G.J. & Griffiths, J.S., 2001. Landslide hazard mapping and risk assessment. In: Griffiths, J.S. (ed.) *Land surface evaluation for engineering practice*. London, Geological Society, 18, 43-52.
- Ho, K., Leroi, E. & Roberds, B., 2000. Quantitative risk assessment. Application, myths and future directions. *Geo Eng 2000*, Technomic Publishing, 269-312.
- International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE), 2007. *TC304 Engineering Practice of Risk Assessment & Management: Glossary of Terms*. available from www.engmath.dal.ca/tc32.
- ISRM, 1979a. Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties, and swelling and slake-durability index properties. ISRM Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 16, 141-156.
- ISRM, 1979b. Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. ISRM Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 16, 135-140.
- ISRM, 1985. Suggested methods for determining point load strength. ISRM Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 22 (2), 51-60.
- Jabatan Penilaian dan Perkhidmatan Harta, 2009. *Laporan Pasaran Harta 2009 di Malaysia*, 116 p.
- Jabatan Perangkaan Malaysia, 2008. *Taburan Penduduk dan Ciri-Ciri Asas Demografi - Banci Penduduk dan Perumahan Malaysia, 1980, 1991, 2000 & 2008*. 9-32.
- Jibson, R.W., Harp, E.L. & Michael, J.A., 2000. A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. *Eng. Geol.*, 58 (3-4), 271-289
- Kanungo, D. P., Arora, M. K., Gupta, R. & Sarkar, P.S., 2008. Landslide risk assessment using concepts of danger pixels and fuzzy set theory in Darjeeling Himalayas. *Landslides*, 5, 407-416.
- Kong, W.K., 2002. Risk assessment of slopes. *Quart. J. Engin. Geol. Hydrogeol.*, 35, 213-222.
- Lacasse, S. & Nadim, F., 2006. Hazard and Risk Assessment of Slopes. *Proc. of the International Conference on Slope, Malaysia 2006*. Kuala Lumpur, 1-26.
- Lee, E.M. & Jones, D.K.C., 2004. *Landslide Risk Assessment*. Thomas Tilford Publishing, London.
- Lee, S. & Choi, U., 2003. Development of GIS-based geological hazard information system and its application for landslide analysis in Korea. *Geosci. J.*, 7, 243-252.
- Lee, S. & Min, K., 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Env. Geol.*, 40, 1095-113.
- Lee, S., Chwae, U. & Min, K., 2002a. Landslide susceptibility mapping by correlation between topography and geological structure: the Janghung area, Korea. *Geomorphology*, 46, 149-162.
- Lee, S., Choi, J. & Min, K., 2002b. Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model. *Environ. Geol.*, 43, 120-131.
- Lee, S., Ryu, J.H., Min, K. & Won, J.S., 2003a. Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network. *Earth Surface Processes Landform*, 27, 1361-1376.
- Lee, S., Ryu, J.H., Lee, M.J. & Won, J.S., 2003b. Landslide susceptibility analysis using artificial neural network at Boun, Korea. *Environ. Geol.*, 44, 820-833.
- Lee, S., Ryu, J.H., Won, J.S., Park, H.J., 2004. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping: using an artificial neural network. *Eng. Geol.*, 71, 289-302.
- Leone, F., Aste, J.P. & Leroi, E. 1996. Vulnerability assessment of elements exposed to mass-moving: working toward a better risk perception. Senneset, K. (Ed.), *Landslides*. Balkema, Rotterdam. 263- 269.
- Leroi, E., 1996. Landslide hazard - Risk maps at different scales: Objectives, tools and development. In: Senneset, K. (ed.) *Landslides - Glissements de Terrain*, 7th. International Symposium on Landslides. Trondheim, Norway, Balkema, 35-51.
- Lu, P. & Rosenbaum, M.S., 2003. Artificial Neural Networks and Grey Systems for the Prediction of Slope Stability, *Natural Hazards*, 30 (3), 383 - 398.
- Luzi, L., Pergalani, F. & Terlien, M.T.J. 2000. Slope vulnerability to earthquakes at sub regional scale: using probabilistic techniques and geographic information systems. *Eng. Geol.*, 58, 313-336
- Michael-Leiba, M., Baynes, & Scott, G., 2000. Quantitative landslide risk assessment of Cairns, Australia. *Landslides in research, theory and practice*. London, Thomas Telford.
- Morgenstern, N.R., 1997. Toward landslide risk assessment in practice. In: D. Cruden and R. Fell, (eds) *Landslide Risk Assessment*, A.A. Balkema, Rotterdam, 15-23.
- Montgomery, D.R. & Dietrich, W.E., 1994. A physically-based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research*, 30, 1153-1171.
- Nadim, F. & Lacasse, S., 2003. Review of probabilistic methods for quantification and mapping of geohazards. *Geohazards 2003*, Edmonton, 279-286.
- Ohlmacher, G.C. & Davis, J.C., 2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. *Eng. Geol.*, 69, 331-343.
- Osei, E.K., Amoh, G.E.A. & Schandorf, C., 1997. Risk ranking by perception. *Health Physics*, 72, 195-203.
- Parise, M. & Jibson, W.R., 2000. A seismic landslide susceptibility

- rating of geologic units based on analysis of characteristics of landslides triggered by the 17 January, 1994, Northridge, California Earthquake. *Eng. Geol.*, 58, 251–270.
- Perotto-Baldivieso, H.L., Thurow, T.L., Smith, C.T., Fisher, R.F. & Wu, X.B., 2004. GIS-based spatial analysis and modeling for landslide hazard assessment in steep lands, southern Honduras, Agriculture, Ecosystems & Environment.
- Pistocchi, A., Luzi, L. & Napolitano, P., 2002. The use of predictive modeling techniques for optimal exploitation of spatial databases: a case study in landslide hazard mapping with expert system-like methods. *Environ. Geol.*, 41, 765–775.
- Rece, A. & Capolongo, D., 2002. Probabilistic modeling of uncertainties in earthquake induced landslide hazard assessment. *Computer Geosci.*, 28, 735–749.
- Remondo, J., Gonzalez, A., Diaz de Teran, J.R., Cendrero, A., Fabbri, A.G. & Chung, C.J.F., 2003. Validation of landslide susceptibility maps: examples and applications from a case study in Northern Spain. *Nat. Hazards*, 30, 437–449.
- Rodeano, R., Sanudin, T., Shariff, A.K.S.O. 2006. Engineering geology of the Kota Kinabalu area, Sabah, Malaysia. *Bull. Geol. Society of Malaysia*, 52, 17- 25.
- Romeo, R., 2000. Seismically induced landslide displacements: a predictive model. *Eng. Geol.*, 58, 337–351
- Rowbotham, D. & Dudycha, D.N., 1998. GIS Modeling of slope stability in Phewa Tal watershed, Nepal. *Geomorphology*, 26, 151–170
- Schmidt, M. & Glade, T., 2003. Linking global circulation model outputs to regional geomorphic models: a case study of landslide activity in New Zealand. *Climate Research*, 25, 135-50.
- Terlien, M.T.J., Van Asch, T.W.J. & Van Westen, C.J., 1995. Deterministic modelling in GIS-based landslide hazard assessment. In: Carrara, A., & Guzzetti, F. (eds.) Geographical information systems in assessing natural hazards. Kluwer Academic Publishing, The Netherlands, 57-77.
- van Westen, C.J., 1993. GISSIZ. Training package for geographic information systems in slope instability zonation. Part 1: theory. UNESCO—ITC Project on “Geo-information for environmentally sound management of natural resources”. Enschede, Netherlands.
- van Westen, C.J. & Terlien, M.T.J., 1996. An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from Manizales (Colombia). *Earth Surface Processes Landform*, 21(9), 853–868.
- van Westen, C.J., Soeters, R. & Sijmons, K., 2000. Digital Geomorphological landslide hazard mapping of the Alpage area, Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2 (1), 51-59.
- van Westen, C.J., Rengers, N. & Soeters, R., 2003. Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment. *Natural Hazards*, 30 (3), 399–419.
- Vanacker, V., Vanderschaeghe, M., Govers, G., Willems, E., Poesen, J., Deckers, J. & De Bievre, B., 2003. Linking hydrological, infinite slope stability and land-use change models through GIS for assessing the impact of deforestation on slope stability in high Andean watersheds. *Geomorphology*, 52, 299-315.
- Varnes, D.J., & IAEG Commission on Landslides and other Mass-Movements, 1984. *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO Press, Paris, 63 p.
- Zhou, C.H., Lee, C.F., Li, J. & Xu, Z.W., 2002. On the spatial relationship between landslides and causative factors on Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 43,197–207.
- Zhou, G., Esaki, T., Mitani, Y., Xie, M. & Mori, J., 2003. Spatial probabilistic modeling of slope failure using an integrated GIS Monte Carlo simulation approach. *Eng. Geol.*, 68, 373–386.

Manuscript received 10 July 2010
Revised manuscript received 23 December 2011