

Pemetaan potensi bencana tanah runtuh menggunakan faktor penilaian bencana tanah runtuh dengan pendekatan GIS

NORBERT SIMON^{1*}, JUHARI MAT AKHIR¹, AZLIKAMIL NAPIAH² & TAN HAN KEE¹

¹Program Geologi, Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, 43600, Selangor, Malaysia

²Pusat Remote Sensing Negara (MACRES), No. 13 Jalan Tun Ismail, 50480 Kuala Lumpur, Malaysia

*Email: norbsn@yahoo.com

Abstrak— Pemetaan zon potensi tanah runtuh dengan menggunakan kaedah GIS lazimnya melibatkan pertimbangan yang subjektif dan pertimbangan ini jika tidak dibimbing, boleh menyebabkan hasil yang diperolehi tidak tepat. Kertas ini membincangkan penggunaan teknik Faktor Penilaian Bencana Tanah Runtuh (LHEF) untuk memetakan zon potensi tanah runtuh untuk kawasan yang luas. Kaedah ini telah mempunyai faktor-faktor dan klasifikasi tanah runtuh yang telah ditetapkan dan ini dapat membantu pengkaji dalam pemetaan potensi tanah runtuh suatu kawasan dengan berpandukan ketetapan yang telah ada dalam kaedah ini. Sebanyak enam faktor tanah runtuh digunakan dalam kajian ini untuk memetakan zon potensi bencana tanah runtuh di sepanjang Lebuhraya Pantai Timur (LPT) km160-km190, Pahang. Faktor-faktor kebolehcanaan tanah runtuh yang digunakan dalam kajian ini adalah litologi, jenis tanah, guna tanah, topografi, kecuraman cerun dan jumlah hujan tahunan. Satu peta potensi bencana tanah runtuh untuk kawasan kajian telah dihasilkan dan kawasan kajian telah dikelaskan kepada empat zon potensi dengan peratus keluasan daripada yang tertinggi iaitu zon potensi tinggi (38.9%), sangat tinggi (13.4%), sederhana (37.0%) dan rendah (10.7%). Faktor yang menyebabkan ketidakstabilan kepada kawasan kajian adalah litologi yang terdiri daripada batuan seperti syal, batu lodak, filit dan sabak serta jenis tanah yang mempunyai peratusan kandungan lempung yang tinggi. Faktor hujan pula dianggap sebagai faktor pencetus kepada ketidakstabilan yang berlaku di kawasan kajian. Berdasarkan penilaian peta dengan menggunakan kaedah *correlation coefficient*, ketepatan peta potensi bencana tanah runtuh berbanding taburan tanah runtuh bernilai 0.87. Nilai ini menunjukkan peta potensi bencana tanah runtuh kawasan kajian berdasarkan teknik Faktor Penilaian Tanah Bencana Tanah Runtuh (LHEF) akan menghasilkan peta potensi bencana tanah runtuh yang berketepatan tinggi.

Kata kunci: GIS, tanah runtuh, LHEF, TEHD, faktor kebolehcanaan

Landslide hazard potential mapping using landslide hazard evaluation factor with GIS approach

Abstract— The use of the GIS method in mapping zones of potential landslides usually involves subjective criteria which produce inaccurate results if the criteria are not proper. This paper discusses the use of a Landslide Hazard Evaluation Factor (LHEF) in mapping zones of landslide potential for a large area. The technique contains standardized factors and landslide classification that will aid researcher to map landslide potential of an area in accordance to the standard. Six landslide factors were used in this research to map the landslide hazard potential zone along km 160-km 190 of the East Coast Highway (ECE), Pahang. The landslide susceptibility factors used in this research are lithology, soil type, landuse, topography, slope steepness and annual rainfall. The landslide hazard potential map of the study area were produced and classified to four potential zones with the highest area percentage namely high potential (38.9%), very high potential (13.4%), moderate (37.0%) and low potential (10.7%). Factors that caused instability of the study area are lithology such as shale, siltstone, phyllite and slate as well as soil type containing high percentage of clay. Rainfalls factor are considered as the triggering factor of instability of the study area. The accuracy was assessed using correlation coefficient method, the landslide hazard potential map is compared to the landslide distribution of the study area, which gives a correlation coefficient of 0.87. This value indicates that the landslide hazard potential map according to the Landslide Hazard Evaluation Factor technique can yield high accuracy landslide hazard potential map.

Keywords: GIS, landslide, LHEF, TEHD, susceptibility factor

PENGENALAN

Kejadian tanah runtuh menjadi masalah apabila bencana tersebut mengganggu aktiviti manusia dan mengakibatkan kerosakan pada harta benda dan menyebabkan kehilangan nyawa (Jasmi, 2004; Glade & Crozier, 2005). Negara kita sering kali dikejutkan dengan kejadian tanah runtuh dan

kegagalan cerun yang lazimnya berlaku pada cerun potongan jalan. Penyiasatan tapak sebelum pembinaan sesuatu infrastruktur lazimnya melibatkan ujian-ujian geoteknik secara tempatan dan memakan belanja yang tinggi. Satu kajian ramalan tanah runtuh dengan menggunakan parameter geologi dan bukan geologi dilakukan di sepanjang Lebuhraya Pantai Timur (LPT) bermula dari km160-km190 yang

merupakan satu lebuhraya yang baru dibuka pada tahun 2004 (Rajah 1).

Kekurangan pengalaman merupakan satu faktor yang boleh menyebabkan pengelasan dan pemberian pemberat kepada faktor kebolehcanaan tanah runtuh mengalami pertimbangan yang tidak tepat dan ini boleh meyebabkan peta potensi yang dihasilkan kurang tepat. Peta potensi tanah runtuh yang dihasilkan juga tidak dinilai dari segi ketepatan secara kuantitatif dan selalunya ketepatan peta potensi tanah runtuh hanya melibatkan perbandingan antara maklumat dan data sejarah tanah runtuh yang diperolehi melalui kerjalapangan, fotograf udara dan kajian literatur dengan peta potensi yang dihasilkan.

Kertas ini ingin mengetengahkan satu teknik pengezonan tanah runtuh dengan menggunakan teknik Penilaian Faktor Bencana Tanah Runtuh (LHEF) yang diperkenalkan oleh Anbalagan (1992). Teknik ini boleh diaplikasikan secara manual dengan menggunakan peta-peta dalam bentuk analog atau boleh juga diaplikasikan dengan menggunakan kaedah GIS. Teknik ini telah mempunyai ketetapan tertentu yang membolehkan pemetaan potensi tanah runtuh lebih tepat. Pendekatan GIS dalam memetakan kawasan berpotensi mengalami bencana tanah runtuh dengan menggunakan teknik LHEF akan dibincangkan dalam kertas ini.

KAEDAH KAJIAN

Kajian dijalankan dalam tiga peringkat iaitu pengumpulan data, kerjalapangan dan penjanaaan peta potensi bencana tanah runtuh. Dalam aspek pengumpulan data, maklumat dan data sejarah kejadian tanah runtuh dikumpul melalui kajian literatur dan penafsiran fotograf udara. Selain itu, peta-peta yang ingin digunakan dalam kajian diperolehi daripada agensi-agensi kerajaan tertentu. Peta-peta yang diperolehi kemudiannya akan ditukarkan kepada bentuk digit untuk digunakan dalam analisis kaedah GIS. Peta dasar bagi kawasan kajian ini adalah berskala 1: 50,000. Peta-peta dan data yang digunakan dalam kajian ini adalah peta guna tanah, peta jenis tanah, peta topografi, peta geologi dan data hujan tahunan. Rajah 2 menunjukkan carta alir kaedah kajian yang digunakan.

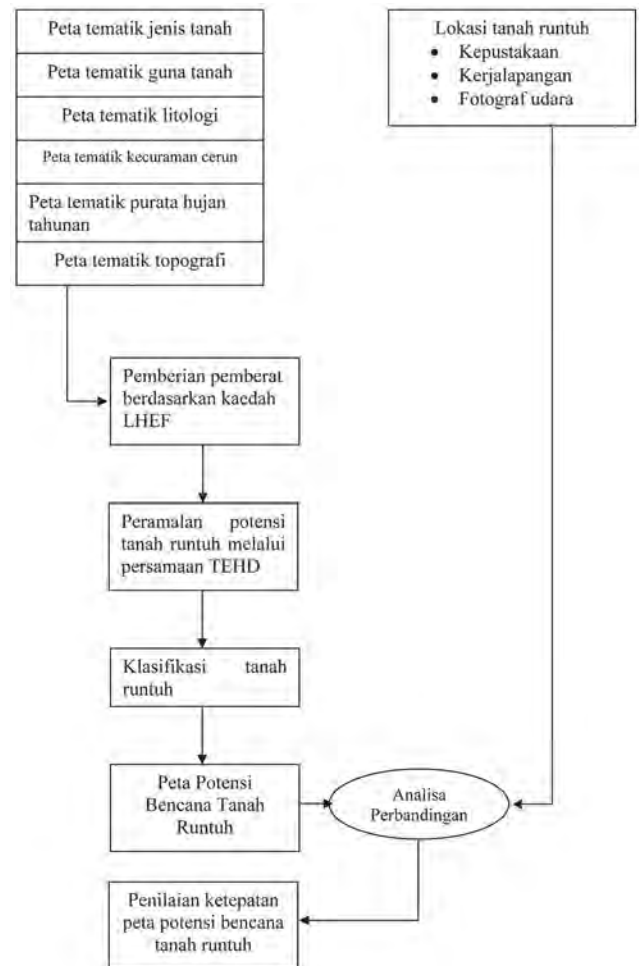
Kerjalapangan dijalankan untuk mendapatkan maklumat dan data terbaru berkenaan kejadian kegagalan cerun yang berlaku di sepanjang lebuhraya yang dikaji. Maklumat-maklumat berkenaan tanah runtuh yang dicerap di sepanjang kerjalangan ini adalah seperti kedudukan koordinat, jenis kegagalan dan bahan kegagalan. Seterusnya, pemodelan tanah runtuh dijalankan dengan menggunakan kaedah yang diperkenalkan oleh Anbalagan (1992) dan mengikut ketetapan-ketetapan yang telah disediakan dalam teknik pemetaan tersebut.

PEMODELAN

Terdapat dua jenis pemetaan tanah runtuh dengan menggunakan pendekatan GIS iaitu, pemetaan secara langsung dan pemetaan tidak langsung (Luzy & Pergalani,



Rajah 1: Peta jajaran Lebuhraya Pantai Timur (LPT) dan kawasan kajian. Sumber: Lembaga Lebuhraya Malaysia.



Rajah 2: Carta alir kaedah kajian.

1996). Menurut Westen *et al.* (2003), pemetaan langsung memerlukan pengalaman dan pengetahuan ahli geomorfologi untuk menilai keadaan kawasan muka bumi untuk menentukan kecenderungan potensi secara langsung. Pemetaan tidak langsung menggunakan model-model statistik atau model penentuan (*deterministic*) untuk meramal kawasan berpotensi berlakunya tanah runtuh berdasarkan faktor-faktor yang berkaitan dengan tanah runtuh.

Berdasarkan pendekatan pemetaan dalam GIS ini, pemetaan potensi bencana tanah runtuh LHEF tergolong

dalam pemetaan langsung dan pemodelan menggunakan teknik ini melibatkan model heuristik. Pendekatan kaedah ini merupakan pendekatan paling lazim digunakan dan pendekatan ini bergantung kepada analisis fotograf udara, imej penderiaan jauh, peta topografi, geologi, kerjalapangan dan data sejarah tanah runtuh untuk menghasilkan peta tafsiran tanah runtuh serta fitur-fitur aktiviti tanah runtuh (Gilbert *et al.*, 2004).

Pemodelan tanah runtuh kawasan kajian adalah berdasarkan kepada kaedah LHEF yang mengaplikasikan pendekatan empirikal dengan mengabungkan pengalaman yang diperolehi daripada lapangan dengan faktor penyumbang serta impak faktor-faktor tersebut kepada kejadian tanah runtuh (Anbalagan, 1992). Teknik pemodelan potensi tanah runtuh LHEF yang digunakan oleh Anbalagan merangkumi enam faktor kebolehcanaan dalam menilai potensi bencana tanah runtuh, iaitu litologi dan jenis tanah, struktur ketakselanjaran, kecuraman cerun, topografi, guna tanah dan tutupan bumi dan keadaan air bawah tanah. Menurut Anbalagan lagi, setelah pemberat telah diberikan kepada setiap faktor penyumbang, pengelasan zon-zon potensi dilakukan dengan menggunakan kaedah Jumlah Ramalan Bencana (TEHD).

Dalam kajian ini, enam faktor penyumbang digunakan dalam permodelan tanah runtuh (Jadual 1 dan 2). Faktor-faktor tersebut adalah litologi dan jenis tanah, topografi, kecuraman cerun dan purata hujan tahunan. Tatacara dalam mengaplikasikan permodelan tanah runtuh dengan menggunakan kaedah LHEF dalam GIS boleh didapati melalui laman sesawang www.rmsi.com/press/whitepaper, iaitu satu laman yang dihasilkan oleh Environmental System Research Institute (ESRI). Kaedah yang digunakan dalam kajian ini dalam mengaplikasikan kaedah LHEF dalam GIS boleh diperolehi daripada laman sesawang tersebut.

Dengan menggunakan kaedah GIS, pemberat setiap faktor dalam LHEF perlu ditukar kepada bentuk integer yang lebih mudah, iaitu dengan mendarabkan setiap pemberat dengan nilai 10. Jika dilihat dalam Jadual 1, skala baru kajian dibentuk semula memandangkan hanya enam faktor tanah runtuh digunakan dalam kajian ini. Oleh itu, skala zon potensi juga berubah. Skala zon potensi yang baru dihasilkan dengan menggunakan persamaan di bawah:

$$\text{Skala zon potensi} = X \times (\Sigma \text{ nilai faktor}/10)$$

Pemberat bagi kelas-kelas dalam faktor penyumbang pula diberikan skala daripada 10 hingga 100 dengan nilai 10 sebagai kurang mempengaruhi kejadian tanah runtuh dan 100 sebagai nilai maksimum iaitu kelas faktor yang paling mempengaruhi kejadian tanah runtuh. Peta berbentuk grid yang mempunyai nilai pemberat bagi setiap piksel boleh dihasilkan melalui persamaan di bawah

$$\text{Faktor kebolehcanaan tanah runtuh}_{x,y} = \frac{\Sigma (\text{Pemberat Faktor}_i \times \text{Pemberat Kelas}_{x,y})}{100}$$

Setelah pemberian pemberat diberikan kepada setiap kelas dalam setiap faktor penyumbang selesai, peta zon

potensi dihasilkan dengan menggunakan persamaan yang diperkenalkan oleh Anbalagan (1992) iaitu Jumlah Ramalan Bencana (TEHD) untuk diklasifikasikan kepada lima zon potensi bencana tanah runtuh iaitu sangat rendah, rendah, sederhana, tinggi dan sangat tinggi.

Persamaan bagi TEHD ini diberikan di bawah.

$$\text{TEHD} = \text{Pemberat (litologi + kecuraman cerun + topografi + guna tanah dan tutupan bumi + jumlah hujan tahunan + jenis tanah)}$$

Peta ramalan potensi bencana tanah runtuh yang dihasilkan seterusnya diklasifikasikan kepada zon-zon potensi seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 3.

HASIL DAN PERBINCANGAN

Perbincangan berkenaan keputusan yang diperolehi dalam kajian ini akan dibahagikan kepada empat bahagian iaitu, kerjalapangan, peta-peta tematik, permodelan tanah runtuh dan penilaian ketepatan peta ramalan potensi tanah runtuh.

Jadual 1: Nilai pemberat bagi setiap kelas dalam faktor kebolehcanaan.

Faktor Kebolehcanaan	Pemberat
Litologi	
Batu pasir Jura-Kapur	80
Batu pasir, batu lodak dan syal-Trias	80
Granitoid-Trias	20
Filit, Sabak dan syal (metasedimen)	100
Volkanik-Perm	100
Batu Kapur-Perm	40
Kecuraman Cerun (°)	
0-15	20
16-25	40
26-35	60
36-45	80
> 45	100
Topografi (m)	
<100	60
101-300	80
>300	100
Kelas Guna Tanah	
Air	10
Hutan	40
Kawasan dibersihkan	100
Paya	10
Padang ternak dan rumput	60
Perbandaran	100
Perlombongan	100
Pertanian	60
Tidak diusahakan	60
Taburan Hujan Tahunan (mm)	
<2101	20
2101-2197	40
2197-2293	60
2293-2389	80
>2389	100



Rajah 3: Tanah runtuh di kawasan kajian. a) Tanah runtuh jenis gelongsoran tanah dan jatuhan batuan di stesen cerapan 12 di km 170.9 melibatkan konglomerat dan tanah berpasir hingga berlodak. b) Tanah runtuh jenis gelongsoran tanah di stesen cerapan 30 yang melibatkan batu pasir berlodak.

Jadual 2: Kelas-kelas jenis tanah kawasan kajian berserta dengan nilai pemberat untuk setiap kelas.

Jenis Tanah	Bahan Pembentuk	Pemberat
Bungor-Munchong	Lempung berpasir halus-lempung	80
Gajah Mati-Munchong-Melaka	Lempung kerikil-lempung	20
Munchong-Serdang	Lom lempung berpasir-lempung	80
Gambut	Lempung	100
Rengam-Jerangau	Lempung berpasir kasar-lempung	60
Segamat-Katong	Lempung-lom lempung	80
Tanah Curam	Lempung berpasir kasar	40
Telemong-Akob-Lanar tempatan	Lom lempung berpasir halus	60
Jempol	Lom lempung berpasir	40

Jadual 3: Skala baru dalam penilaian zon potensi tanah runtuh dengan skala yang disarankan oleh Anbalagan (1992).

Zon Potensi	Anbalagan (1992)	Skala baru kajian
Sangat rendah	0.0 – 3.5	0.0 – 31.5
Rendah	3.5 – 5.0	31.5 – 45.0
Sederhana	5.0 – 6.0	45.0 – 54.0
Tinggi	6.0 – 7.5	54.0 – 67.5
Sangat Tinggi	7.5 – 10.0	67.5 – 90.0

Kerjalapangan

Hasil daripada kerjalapangan dijalankan pada bulan Julai 2005 dan bulan September 2006, didapati terdapat 21 lokasi tanah runtuh di kawasan kajian. Tanah runtuh yang berlaku di kawasan kajian ini boleh dikategorikan kepada dua kumpulan, iaitu (i) jatuhan batuan dan (ii) gelongsoran tanah dan gelongsoran batuan.

Kebanyakan bahan kegagalan adalah daripada jenis batuan berbutir halus seperti filit, sabak, syal dan juga terdapat beberapa batuan berbutir kasar seperti konglomerat dan batu pasir. Rajah 3 menunjukkan gambar-gambar lokasi tanah runtuh di kawasan kajian. Jumlah keseluruhan tanah runtuh di kawasan kajian yang diperolehi daripada kajian literatur iaitu Roziah (2003) dan Aruha (2003), kerjalapangan dan daripada tafsiran fotograf udara adalah sebanyak 123 lokasi tanah runtuh. Peta lokasi tanah runtuh kawasan kajian ditunjukkan dalam Rajah 4. Jika dirujuk dalam Rajah 4, didapati kebanyakan tanah runtuh berlaku berhampiran dengan jalan raya dan lebuh raya.

Antara pemangkin tanah runtuh di kawasan kajian adalah kecuraman potongan cerun dan penyelenggaraan yang tidak teratur. Cerun-cerun yang dipotong secara puratanya mempunyai kecuraman sekitar 45°-55°. Cerun-cerun ini sebenarnya agak curam dan secara teorinya melebihi sudut rehat bahan pembentuk cerun yang lazimnya berada di sekitar 35°. Cerun yang curam ini memudahkan pergerakan bahan

di atasnya dan kegagalan lebih mudah berlaku pada hari hujan. Ini kerana hujan merupakan pencetus tanah runtuh dengan bertindak sebagai pelincir bahan pembentuk cerun dan juga boleh menambah beban pada cerun dengan mengisi liang-liang kosong di antara butiran pembentuk cerun.

Kebanyakan bahan-bahan pembentuk cerun seperti batuan juga telah mengalami kadar luluhawa yang tinggi. Berbanding dengan cerun-cerun yang dibentuk oleh batuan, risiko kegagalan lebih tinggi pada cerun-cerun yang telah mengalami gred luluhawa keenam yang mana ke semua batuan tersebut telah berubah menjadi tanah. Terdapat juga cerun-cerun yang dipotong hampir tegak (90°) dan penyelenggaraan cerun yang tidak konsisten juga boleh mengundang masalah tanah runtuh.

Peta Tematik

Terdapat sebanyak enam peta tematik digunakan dalam kajian ini untuk menghasilkan peta ramalan potensi tanah runtuh kawasan kajian berdasarkan kaedah LHEF. Peta-peta tematik tersebut adalah peta tematik litologi, peta tematik kecuraman cerun, peta tematik purata hujan tahunan, peta tematik guna tanah, peta tematik jenis tanah, dan peta tematik topografi. Kelas-kelas yang terdapat dalam setiap faktor kebolehcanaan bagi setiap parameter yang digunakan dalam kajian ini diberikan dalam Jadual 2 dan Jadual 3. Jadual 3 menunjukkan pemberat faktor jenis

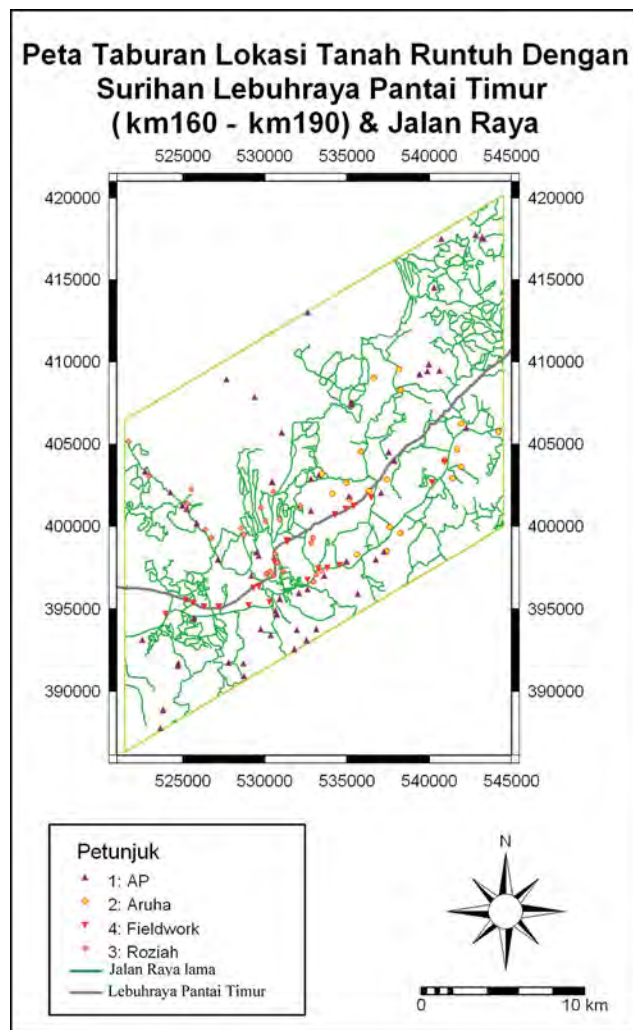
tanah yang diberikan kepada setiap siri tanah berdasarkan kandungan lempung dan saiz butiran. Perincian mengenai pemberian pemberat kepada setiap kelas individu dalam setiap faktor tanah runtuh tidak akan dibincangkan di sini tetapi pemberian pemberat kepada setiap kelas faktor tanah runtuh diberikan berpandukan kepada pemberat-pemberat yang pernah digunakan bagi setiap kelas dalam faktor tanah runtuh oleh pengkaji-pengkaji terdahulu seperti Azlikamil (2003), Temesgen *et al.* (2001) dan Westen (1997). Kaedah pemberian pemberat oleh pengkaji terdahulu digunakan untuk mengelakkan kesilapan pertimbangan semasa memberikan pemberat kepada setiap kelas dalam setiap faktor tanah runtuh. Pemberat diberikan dalam skala 10 hingga 100 dengan nilai 10 merupakan nilai yang paling tidak mempengaruhi kejadian tanah runtuh dan nilai 100 merupakan nilai yang paling mempengaruhi kejadian tanah runtuh.

Pemodelan Potensi Tanah Runtuh

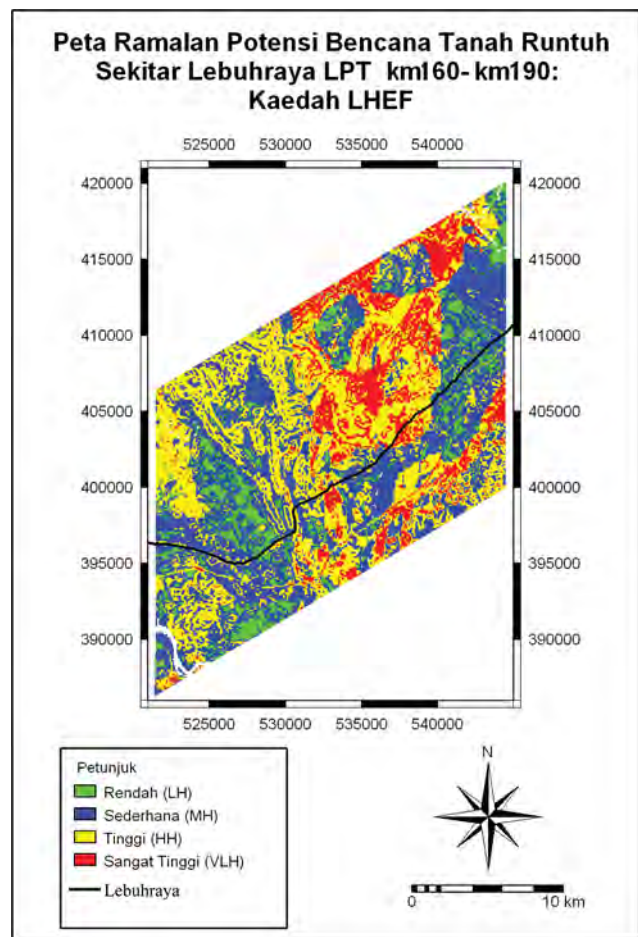
Peta potensi bencana tanah runtuh yang dihasilkan dalam kajian ini ditunjukkan dalam Rajah 5. Penjelasan berkenaan maksud setiap zon potensi diperolehi daripada

klasifikasi tanah runtuh dalam Barredo *et al.* (2000), Tajul Anuar *et al.* (2004) dan Westen *et al.* (2003). Peratus kawasan yang diliputi oleh setiap zon potensi ditunjukkan dalam Rajah 6. Jika dilihat dalam Rajah 6, kawasan berpotensi tinggi merupakan kawasan yang paling luas iaitu meliputi 38.9% kawasan kajian dan diikuti oleh kawasan berpotensi sederhana (37.0%), kawasan berpotensi sangat tinggi (13.4%) dan kawasan berpotensi rendah (10.7%).

Kawasan berpotensi rendah dikategorikan sebagai zon paling stabil yang mana sepatutnya tidak akan berlaku tanah runtuh. Kawasan yang berpotensi rendah ini tertabur di sekitar Timur dan Barat kawasan kajian. Walaupun ditafsirkan sebagai kawasan yang stabil, aktiviti-aktiviti manusia seperti pembinaan jalan raya dan lebuhraya, pembangunan serta perumahan yang melibatkan pemotongan cerun boleh mencetuskan kejadian tanah runtuh. Pada kawasan yang dikategorikan sebagai kawasan berzon potensi sederhana, ditafsirkan kebarangkalian untuk berlakunya kejadian tanah runtuh berada pada tahap yang tidak membimbangkan sangat dan kejadian tanah runtuh yang melibatkan faktor-faktor semulajadi juga berada ditahap yang kurang membimbangkan. Faktor-faktor yang diramal mempengaruhi kejadian tanah runtuh di kawasan ini adalah jenis tanah yang mengandungi pasir bercampur



Rajah 4: Taburan lokasi tanah runtuh di sekitar lebuhraya dan jalan raya lama di kawasan kajian.



Rajah 5: Peta ramalan potensi bencana tanah runtuh kawasan kajian.

dengan lempung dan aktiviti manusia seperti pertanian dan guna tanah seperti perbandaran serta jaringan perhubungan jalan raya.

Bagi kawasan yang jatuh di kawasan berpotensi tinggi, langkah berjaga-jaga harus diambil semasa sesuatu aktiviti dijalankan. Ini kerana potensi tanah runtuh berdasarkan faktor-faktor semulajadi adalah tinggi. Kawasan dalam kategori ini boleh dikatakan sebagai kawasan 'lemah' kerana pengaruh faktor-faktor semulajadi yang boleh menyebabkan kejadian tanah runtuh adalah tinggi. Kejadian tanah runtuh di kawasan ini dipengaruhi oleh ketinggian topografi yang kebanyakannya dalam kelas lebih daripada 100 m. Selain itu, litologi yang memainkan peranan dalam kejadian tanah runtuh di kawasan ini pula terdiri daripada litologi berbutir halus seperti syal, filit, dan sabak. Namun begitu, terdapat juga kejadian tanah runtuh di kawasan batu pasir yang terdapat dalam cerun yang bertopografi tinggi dan curam.

Kawasan berpotensi sangat tinggi merupakan kawasan yang paling lemah kerana pengaruh faktor-faktor semulajadi terhadap kejadian tanah runtuh adalah sangat tinggi. Berdasarkan pengaruh faktor-faktor semulajadi tanah runtuh, pembangunan tidak boleh dijalankan di kawasan ini kecuali kajian yang terperinci ke atas kawasan ini telah dijalankan oleh ahli geologi dan ahli jurutera. Faktor-faktor penyumbang dalam kejadian tanah runtuh di kawasan ini adalah seperti batuan yang berbutir halus seperti syal, filit dan sabak. Kecuraman cerun yang melebihi 45° juga mempengaruhi sebahagian daripada kejadian tanah runtuh dalam kawasan yang jatuh dalam potensi ini. Di samping itu, jenis tanah yang didominasi oleh lempung merupakan antara penyumbang kepada ketidakstabilan di kawasan ini.

Penilaian Ketepatan

Dalam kajian ini, penilaian ketepatan peta berbanding dengan data tanah runtuh menggunakan kaedah statistik jenis "Correlation Coefficient - CC" yang dicadangkan oleh Chandra & Gosh (2006) telah dijalankan. Formula bagi CC diberikan oleh Maselli *et al.* (1996) ditunjukkan seperti berikut:

$$CC = \frac{Cov(^1\mu_{ij}, ^2\mu_{ij})}{\sigma^1 m_{ij} \sigma^2 m_{ij}}$$

Di mana,

$Cov(^1\mu_{ij}, ^2\mu_{ij}) = covariance$ antara dua taburan tanah runtuh; dan

$\sigma^1 \mu_{ij} \sigma^2 \mu_{ij}$ = sisihan piawai antara kedua-dua taburan tanah runtuh.

CC mempunyai nilai antara -1 hingga +1 di mana semakin tinggi atau semakin dekat dengan nilai +1 hasil CC, semakin jitu bagi pengelasan sesuatu model. Ia juga menunjukkan jika semakin jitu pengelasan sesuatu pengelasan, maka model yang diaplikasikan adalah lebih tepat, jitu, sesuai dan wajar. Berdasarkan persamaan yang digunakan untuk menilai ketepatan peta yang dihasilkan dalam kajian ini, peta ini mempunyai ketepatan 0.87 iaitu menghampiri nilai 1. Ini menunjukkan peta yang dihasilkan mempunyai ketepatan yang tinggi daripada segi taburan tanah runtuh berbanding keluasan litupan potensi.



Rajah 6: Peratus kawasan yang diliputi oleh setiap zon potensi.

Jadual 4: Perbandingan bilangan lokasi tanah runtuh dengan potensi tanah runtuh.

Potensi Tanah Runtuh	Bilangan Tanah Runtuh
Rendah	15
Sederhana	32
Tinggi	54
Sangat Tinggi	22

KESIMPULAN

Kaedah Penilaian Bencana Tanah Runtuh (LHEF) yang digunakan sebagai piawai dalam pemetaan zon-zon potensi tanah runtuh kawasan kajian memberikan kaedah yang paling mudah dan tepat serta dapat membantu pengkaji yang baru berkecimpung dalam pemetaan zon potensi tanah runtuh menggunakan pendekatan GIS. Kaedah LHEF ini dapat membantu mengurangkan masalah ketepatan yang amat subjektif semasa memetakan zon-zon potensi tanah runtuh kerana kaedah ini mempunyai panduan dalam pemberian pemberat dan mudah untuk difahami.

CADANGAN

Kaedah LHEF ini tidak menyediakan skala piawai bagi ketumpatan lineamen dan zon penimbal sesar yang merupakan parameter yang penting dalam kajian tanah runtuh daripada segi geologi. Oleh itu, dicadangkan supaya satu skala piawai bagi parameter ketumpatan lineamen dan zon penimbal sesar boleh disediakan pada kajian akan datang sebagai satu penambahbaikan untuk kaedah LHEF yang digunakan dalam pemetaan potensi bencana tanah runtuh.

PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Prof Dr. Ghani Rafek atas bimbingan dan teguran semasa penyelidikan ini dijalankan dan MACRES kerana sudi menyumbangkan imej kawasan kajian. Selain itu, penghargaan juga diberikan kepada MTD Prime Sdn Bhd kerana membenarkan kajian dibuat di sepanjang Lebuhraya Pantai Timur (LPT).

RUJUKAN

Anbalagan, R., 1992. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology*, 32, Geological Society of Malaysia, Bulletin 55, November 2009

269-277.

- Aruha Azmi, 2003. Landslide hazard potential prediction mapping in Luit river basin using Geographic Information System (GIS) method. at Thesis Bachelor of Science with Honours, National University of Malaysia. 56 p. (in Malay with English abstract)
- Azlikamil Napiah. 2003. Potential analysis of slope stability for determining the suitable development area in Kuala Kubu Bahru, selangor using integration of remote sensing and geographic information system techniques. Thesis Bachelor of Science with Honours, National University of Malaysia. 139 p. (in Malay with English abstract)
- Barredo, J.L., Benavides, A., Hervas, J. & Westen C.J.V., 2000. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana Basin, Gran Canaria Island, Spain. JAG., 2, 9-23.
- Chandra, A.M. & Ghosh, S.K., 2006. Remote sensing and geographical information system. Alpha Science, Oxford. 298 p.
- Gilbert, J.F., Dietrich, W.E., Duncan, J.M., Lamoreaux, P.E., Mader, G.G. Marcuson III, W.F., May, P.J., Morgenstern, N.R., Preuss, J., Turner, A.K. & Youd, T.L., 2004. Partnership for reducing landslide risk. The National Academy Press, Washington. 131 p.
- Glade, T & Croizer, M.J., 2005. The nature of landslide hazard impact. In: Glade, T., Anderson, M. & Croizer, M.J. (eds.), Landslide Hazard and Risk. John Wiley & Sons, New York, 43-74.
- Jasmi Ab Talib, 2004. Landslide hazard zoning mapping using remote sensing and GIS techniques. Malaysia-Japan Symposium on Geohazards and Geoenvironmental Engineering Recent Advances., 19-24.
- Luzi, L. & Pergalani, F., 1996. Application of statistical and GIS techniques to slope instability zonation (1: 50,000 Fabriano geological map sheet). Soil Dynamic and Earthquake Engineering., 15, 83-94.
- Maselli, F. A. Rodulf & Conese, C., 1996. Fuzzy classification of spatially degraded Thematic Mapper for the estimation of sub-pixel component. International Journal of Remote Sensing 17, 537-551.
- Roziyah Che Musa, 2003. Landslide hazard zonation prediction mapping in Maran river basin and part of Jempol river, Pahang, using Geographic Information System (GIS) method. Thesis Bachelor of Science with Honours, National University of Malaysia. 67 p. (in Malay with English abstract)
- Tajul Anuar Jamaluddin, Ibrahim Komoo & Lim, C.S., 2004. Landuse suitability assessment of a tropical hilly-coastal terrain of the Teluk Datai, Langkawi island, Malaysia. Malaysia-Japan Symposium on Geohazards and Geoenvironmental Engineering Recent Advances., 47-54.
- Temesgen, B., Mohammed, M. U. & Korme, T. 2001. Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet area, Ethiopia. Phys. Chem. Earth 26 (9), 665-675.
- Westen, C.J.V., 1997. Hazard, vulnerability and risk analysis.. In: Westen, C.J.V., Lopez, A.S., Cornejo, P.U. & Ardanza, G.C. (eds.), ILWIS applications guide. Enschede, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, 1-18.
- Westen, C.J.V., Rengers, N. & Soeters, R., 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. Natural Hazards., 30, 339-419.

Manuscript received 17 March 2008

Revised manuscript received 30 August 2008