

Tinjauan Awal Potensi Ketidakstabilan Cerun dan Cirikan Fiziko-Kimia Tanah di Cameron Highlands, Pahang

(Preliminary Survey on Potential Slope Instability and Soil Physico-Chemical Characteristic in Cameron Highlands, Pahang)

ZULFAHMI ALI RAHMAN, SAHIBIN ABD. RAHIM, JASNI YAAKOB & WAN MUHD RAZI IDRIS

ABSTRAK

Secara geologi, kawasan Cameron Highlands terdiri daripada batuan granit batolit yang merejah ke dalam batuan sedimen yang lebih tua. Rejahan jasad igneus asidik ini menyebabkan pembentukan batuan meta-sedimen dan batuan metamorfik lain sebagai sisa bumbung. Sekis sering ditemui telah mengalami luluhawa tinggi hingga sepenuhnya, berwarna kelabu cerah hingga gelap dengan butiran halus hingga sederhana dan struktur foliasi yang ketara. Manakala batuan granit mengandungi mineral kuarza, feldspar dan butiran biotit dan/atau turmalin. Kebanyakan cerun potongan jalan raya yang dibina merentasi jasad batuan ini dan survei ketidakstabilan cerun dilakukan berdasarkan jenis, geometri dan cirikan fiziko-kimia tanah cerun. Hasil cerapan lapangan menunjukkan bahawa jenis cerun yang gagal adalah jenis cerun tanah yang terdiri daripada jenis gelinciran cetek dan dalam. Antara faktor yang menyumbang kepada ketidakstabilan cerun adalah geometri cerun seperti cerun yang tinggi dan sudut muka cerun yang curam, sifat keporoian tanah pada cerun dan kekurangan litupan vegetasi permukaan. Ini menyebabkan permukaan cerun terdedah kepada hentaman terus hujan. Kesan daripada air larian permukaan juga menyebabkan pembentukan alur-alur hakisan pada muka cerun tanah. Sifat fiziko-kimia bahan cerun (tanah) seperti taburan saiz partikel, pH, kandungan ferum oksida, bahan organik, kandungan air, ketumpatan pukal dan sebenar serta keporosan juga didapati memainkan peranan sebagai faktor yang dalaman dalam mempengaruhi kestabilan cerun tertentu yang dikaji. Julat pH tanah yang rendah (sifat asidik) pada semua cerun mengurangkan kandungan ferum oksida dalam tanah yang bertindak sebagai bahan penyimen tanah. Ini menyebabkan agregatan tanah menjadi lemah dan mudah terhakis.

Kata kunci: Ketidakstabilan cerun; gelinciran; geometri; luluhawa

ABSTRACT

Geologically Cameron Highlands was formed by a granite batholith intruding into the older sedimentary rocks. Intrusion of this acidic igneous rock formed metasedimentary rocks and other metamorphic rocks as roof pendants. The schist had been highly weathered, coloured bright grey to dark grey having fine to medium size grains with an obvious foliation. Meanwhile the granitic rock is composed of quartz, feldspar and biotite and/or tourmaline grains. Most of the road slopes cut across the granite body and slope instability survey was carried out based on type of failure, geometry and physico-chemical properties of soil slopes. Field observations showed that most of the failed slopes were soil slopes, and the slip that occurred were either shallow slip or deep slide types. Among the factors that influenced slope instability were slope geometry such as slope height and steep slope gradient, friable features of the weathering profile and the lack of surface vegetation cover. This rendered the slope surface exposed to the direct raindrop impact. Surface water run-off has also caused the development of erosion gullies on soil slope surface. Physico-chemical properties of slope material such as particle size distribution, pH, organic matter content, iron oxide content, water content, true and bulk density, and porosity were also influential in slope stability of the slopes investigated. Low soil pH (acidic) of all the slopes examined decreased iron oxide content of soil which acted as a cementing agent to soil aggregates. This has caused the soil aggregate to become weaker and easier eroded.

Keywords: Slope instability; slide; geometry; weathering

PENGENALAN

Aktiviti pembangunan yang giat dijalankan di kawasan tanah tinggi telah menyebabkan perubahan tabii persekitaran bercerun. Pembinaan infrastruktur yang pesat seperti bangunan kemudahan awam dan komersil seperti perumahan, jalan raya dan lebuh raya, empangan, industri, hotel dan resort telah melibatkan aktiviti pematangan dan

penambahan cerun-cerun semulajadi di kawasan cerun bukit dan tanah tinggi. Kawasan tanah tinggi merupakan kawasan sensitif terhadap perubahan sungguhpun melibatkan ubah suaian yang minor.

Masalah kegagalan cerun sudah menjadi lumrah terutama pada musim lembap di mana jumlah curahan hujan yang tinggi. Pembukaan pesat kawasan baru bagi

menampung keperluan infrastruktur semasa turut juga menyumbang kepada kejadian ini. Beberapa kejadian tanah runtuh telah berlaku seperti di Highland Tower, Selangor (1993), Gua Tempurung, Perak (1996) dan Paya Terubung, Pulau Pinang (1998) serta siri kegagalan di sepanjang jalan Tapah-Cameron Highlands. Kejadian pertengahan November 2002, seiring dengan keadaan hujan yang tinggi telah menyebabkan tanah runtuh di Taman Hillview, Hulu Kelang, Selangor. Beberapa siri tanah runtuh juga dilaporkan di beberapa batang jalanraya seperti Jalan Sungai Tua-Ulu Yam dan KM13 - KM18 Jalan Seremban-Kuala Kelawang. Kos membaik pulih cerun memerlukan kos yang tinggi berbanding penyelenggaraan berkala. Penilaian kestabilan dan potensi kegagalan cerun memerlukan pengenalan faktor penyebab dan tanda awal kegagalan. Kestabilan cerun dipengaruhi oleh pelbagai faktor: geologi, sifat fizikal, mekanikal dan kimia bahan bumi, rekabentuk cerun, air bawah tanah, hujan dan kerpasan, luhawa, vegetasi, kaedah penstabilan yang digunakan dan gunatanah kawasan sekitarnya (Abdul Ghani Rafek et al. 1988).

Penyelidikan berkaitan kegagalan cerun banyak dilakukan bagi memahami faktor-faktor penyumbang dan ciri geometri kegagalan cerun yang berlaku. Pengelasan terhadap jenis kegagalan cerun telah dicadangkan oleh Ibrahim Komoo (1985) dengan mengambil kira keadaan iklim tropika di Malaysia. Keadaan luhawa yang aktif menggalakkan proses pelemahan struktur ikatan batuan. Ibrahim Komoo dan Mogana (1988) dan Ibrahim Komoo dan Jasni Yaakub (1990) telah membuat kajian profil luhawa batuan metamorf di terain tropika. Zulfahmi et al. (1999a) telah melakukan pemetaan kegagalan jenis cerun tanah di kawasan Bangi Lama, Selangor.

Pembangunan pangkalan data yang lengkap dan sistematik amat perlu bagi tujuan pemantauan dan penyelenggaraan kawasan bercerun. Faktor-faktor dinamik seperti luhawa, kerpasan hujan, aras air bawah tanah, vegetasi dan gunatanah kawasan sekitar perlu dikemaskini dari masa ke semasa seiring dengan penilaian semasa kestabilan cerun. Oleh yang demikian, langkah-langkah kawalan dan mitigasi boleh dicadangkan bagi memulihkan kestabilan cerun yang merosot. Pemantauan secara berterusan perlu dilakukan memandangkan ancaman kegagalan cerun boleh berlaku tanpa disedari dan mungkin diluar jangkaan. Malaysia merupakan negara yang pesat membangun dengan taburan hujan dan proses peluhawaan yang tinggi. Pengenalan cerun-cerun berpotensi perlu dilakukan dan dikategorikan secara sistematik agar mudah difahami di peringkat pembuat dasar, pemaju, perancang dan ahli politik.

LATAR BELAKANG KAWASAN KAJIAN

Kawasan Cameron Highlands merupakan salah satu kawasan yang pesat mengalami perubahan gunatanah yang melibatkan pembangunan kawasan tanah tinggi. Ia dibatasi oleh garis lintang antara 04° 24'U hingga 04° 29'U dan

garis bujur antara 101°21'T hingga 101° 23'T (Rajah 1). Ia terletak di barat laut Pahang kira-kira 30 km ke timur laut Tapah, Perak. Pelancongan dan pertanian merupakan aktiviti utama kawasan ini.

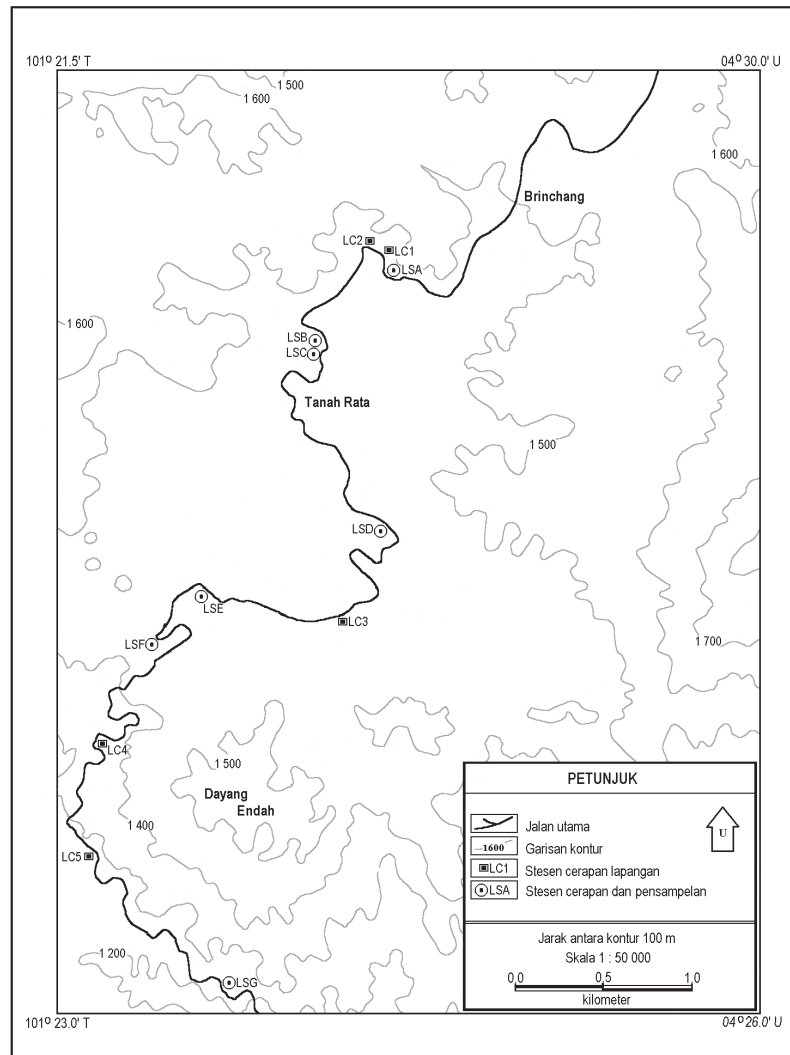
Tinjauan lapangan telah dijalankan di sepanjang jalanraya utama di antara Pekan Ringlet hingga Brinchang di bahagian utara (Rajah 1). Kawasan ini terdiri daripada jujukan perbukitan yang membentuk lembah-lembah terbuka dengan kecuraman landai ke curam pada ketinggian antara 1280m – 1830m dari aras laut. Ia dikenali sebagai *Cameron Plateau* oleh Scrivenor (1931). Banjaran Utama Granit membina kawasan pergunungan dengan kemuncak tertinggi di Gunung Brinchang pada 2030m dari aras laut. Menurut Tjia (1973) kawasan tanah tinggi ini dicirikan oleh tebing lembah yang curam, kehadiran jeram dan air terjun yang banyak. Keadaan topografi kawasan ini mengawal sistem saliran di mana terdapat banyak cerun curam dan lembah berbentuk 'V' yang menghasilkan sungai yang beraliran deras. Pemerhatian fotograf udara menunjukkan sistem sungai dapat dikelaskan sebagai dendritik (utara) dan jejari (selatan) dan penting sebagai kawasan tadahan hujan bagi negeri-negeri berdekatan seperti Pahang, Perak, Selangor dan Johor. Berdasarkan data hujan tahun 1999, purata hujan tahunan adalah 3707.1mm.

Menurut sejarah geologinya, batolith granit telah merejah ke dalam batuan sedimen yang lebih tua sehingga menyebabkan pembentukan batuan meta-sedimen dan metamorfik lain sebagai sisa bumbung di atas jasad granit (Bignell & Snelling 1977; Gobbet & Hutchison 1973). Batuan metamorf biasanya terdiri dari sekis yang terluluhawa tinggi hingga sepenuhnya, berwarna kelabu cerah hingga gelap dengan butiran halus hingga sederhana dan menunjukkan foliasi yang jelas. Anon (1999) telah memetakan keseluruhan kawasan sebagai granit yang berbutiran sederhana ke kasar. Usia batuan granit berjulat dari bawah hingga atas Trias. Batuan meta-sedimen yang lebih tua dipercayai berusia atas Paleozoik. Batuan granitik merejah batuan sedimen berkalk membentuk batuan metamorfik bergred rendah hingga sederhana. Kuarza dan felspar merupakan mineral utama dalam batuan granit. Bongkahan granit jelas tersingkap di beberapa potongan cerun tanah. Akibat dari peluhawaan yang tinggi, tanah reja yang tebal mulai mendominasi cerun dan berasosiasi dengan tanda-tanda awal pergerakan cerun (hakistan).

Tinjauan potensi ketidakstabilan cerun ini memberi perhatian kepada semua cerun potongan dan cerun tambahan pada jalan-jalan utama dan di kawasan perumahan. Pemetaan taburan kegagalan cerun dilakukan bagi mengenalpasti kawasan bermasalah di samping menilai potensi ketidakstabilan cerun di kawasan kajian.

BAHAN DAN KAEDAH KAJIAN

Kajian dijalankan melibatkan peringkat kerjalapangan (pencerapan data dan pengambilan sampel) dan kerja makmal. Kedudukan dan taburan lokasi kegagalan cerun



RAJAH 1. Stesen-stesen pensampelan dan cerapan lapangan

akan dipetakan berdasarkan maklumat lapangan. Maklumat-maklumat yang diperhatikan di lapangan adalah terdiri daripada jenis dan geometri cerun (saiz, bentuk dan kecerunan), darjah luluhawa, jenis tanah dan/atau batuan, vegetasi dan fitur petunjuk pergerakan cerun seperti rekahan, sisipan air, nendatan permukaan, hakisan, alur dan sebagainya. Pengelasan jenis kegagalan cerun dilakukan berdasarkan pengelasan yang dicadangkan oleh Ibrahim Komoo (1985). Manakala pengelasan luluhawa cerun untuk kawasan kajian dilakukan berdasarkan skema profil luluhawa yang dicadangkan oleh Dearman (1995). Pensampelan tanah cerun juga dilakukan pada cerun-cerun terpilih bagi tujuan analisis fiziko-kimia di makmal. Sampel-sampel tanah diambil pada bahagian yang mewakili cerun stabil dan telah gagal. Dutch auger digunakan bagi melakukan pensampelan tanah pada kedalaman 30sm dari permukaan cerun. Maklumat cuaca seperti taburan hujan diperolehi daripada stesen cerapan yang berdekatan.

HASIL DAN PERBINCANGAN

HASIL CERAPAN LAPANGAN

Hasil cerapan lapangan telah dilakukan ke atas tujuh stesen pensampelan (LSA, LSB, LSC, LSD, LSE, LSF dan LSG) dan tambahan lima stesen cerapan (LC1, LC2, LC3, LC4 dan LC5) (Jadual 1). Kod-kod stesen berlainan bagi membezakan antara stesen terlibat dengan cerapan dan pensampelan (LS) dan stesen hanya melibatkan pencerapan sahaja (LC).

JENIS KEGAGALAN CERUN

Hasil cerapan lapangan mendapati jenis cerun yang terlibat adalah terdiri dari cerun tanah. Terdapat dua jenis gelinciran iaitu jenis gelinciran cetek dan dalam. Kedua-duanya dibezakan berdasarkan ketebalan bahan cerun yang terlibat (Ibrahim Komoo 1987). Kegagalan ini dicirikan oleh bentuk satah cerun gagal yang melengkung ke atas dan sering berlaku pada cerun buatan manusia (Walker et al. 1987). Gelinciran cetek diperhatikan di stesen LSA, LSC, LSD, LSF, LC1, LC2, LC3 dan LC4 (Rajah 2). Gelinciran dalam pula ditemui di stesen LSB, LSE, LSG dan LC5 (Rajah 3).

JADUAL 1. Ringkasan hasil cerapan lapangan stesen cerapan dan pensampelan

Stn	Litologi	Gred Luluhawa	Jenis Gagal	Profil (m)		Skala	Bentuk	Sudut (°)
				Tinggi	Lebar			
LSA		IV/V	Ss	10.00	15.00	Sederhana	Cekung	70°
LSB		V	Ds	6.00	3.00	Sederhana	Cekung	42°
LSC		V	Ss	3.15	4.21	Sederhana	Cekung	87°
LSD		V	Ss	7.29	34.00	Sederhana	Cekung	85°
LSE		IV-V	Ds	34.50	18.00	Besar	Cembung	21°
LSF	Granit	V	Ss	5.00	8.30	Sederhana	Cekung	85°
LSG		V	Ds	9.60	7.50	Sederhana	Cembung	75°
LC1		IV-V	Ss	8.40	8.00	Sederhana	Cembung	70°
LC2		IV-V	Ss	6.72	14.50	Besar	Cembung	70°
LC3		V	Ss	3.24	4.00	Sederhana	Cekung	40°
LC4		IV-V	Ss	6.48	27.00	Besar	Cekung	65°
LC5	Meta-sedimen	V	Ds	6.50	15.00	Besar	Cekung	55°

Nota:

Gred luluhawa: Dearman (1995)

Batuan: I-III Tanah: IV-VI

Pengelasan Gelinciran: Ibrahim Komoo (1985)

Ss – Gelinciran cetek Ds – Gelinciran dalam



RAJAH 2. Kegagalan jenis gelinciran cetek. Keadaan cerun yg terdedah dan curam serta bahan cerun yang lemah menyumbang ketidakstabilan cerun. Lokality: Stesen LSF



RAJAH 3. Kegagalan jenis gelinciran pada cerun ini distabilkan dengan pembinaan teres dan penanaman rumput untuk memperlambatkan aliran air larian. Lokality: Stesen LSE

Saiz kegagalan cerun dikelaskan berdasar tiga kategori berdasarkan dimensi lebar (l) dan tinggi (t) muka cerun yang terbabit. Umumnya ia dapat dikelaskan kepada bersaiz kecil ($l < 5$ m, $t < 3$ m), sederhana ($5 \leq l \leq 10$ m, $3 \leq t \leq 5$ m) dan besar ($l > 10$ m, $t > 5$ m) (Zulfahmi et al 1997). Berdasarkan kegagalan cerun yang ditemui, kebanyakan cerun gagal adalah berskala kecil dan sederhana (Jadual 2). Berdasarkan pemerhatian di lapangan menunjukkan terdapat beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi seperti muka cerun yang terdedah, curam dan terluluhawa tinggi menyebabkan kekuatan bahan cerun menyusut. Kebiasaannya kegagalan tersebut berlaku pada musim lembap di mana tanah mengalami ketepuan yang tinggi. Kesan daripada hakisan di kaki cerun juga menyebabkan berlaku runtuh cerun di bahagian atas akibat kehilangan sokongan.

LULUHAWA BAHAN CERUN

Darjah peluluhawaan batuan pada potongan cerun boleh diperhatikan berdasarkan ciri yang diperhatikan seperti perubahan warna dan struktur bahan cerun serta kekuatan fizikal. Menurut Vun (1999) suatu litologi yang mempunyai komposisi kimia dan fizikal yang berbeza antara satu sama lain di mana keduanya mungkin menunjukkan gred yang sama walaupun berbeza litologi. Pengelasan gred luluhawa dilakukan berdasarkan pengelasan yang dicadangkan oleh Dearman (1995). Berdasarkan pemerhatian lapangan mendapati kebanyakan cerun potongan yang stabil dan gagal bergred di antara IV hingga V (Jadual 1). Gred luluhawa IV diperhatikan di stesen LSA, LSE, LC1, LC2, LC4 dan LC5. Pada stesen-stesen tersebut dapat diperhatikan bahan cerun telah didominasi oleh tanah. Namun demikian ciri batuan asal masih dapat diperhatikan. Ubahan warna dari kelabu ke keputihan diperhatikan di sepanjang struktur kekar tersebut.

Pada stesen LSB, LSC, LSD, LSF, LSG dan LC3, bahan cerun dikelaskan bergred V. Semua bahan cerun didapati telah berubah kepada tanah. Ujian lapangan mendapati tanahnya bersifat berpasir dan peroi. Tekstur tanah adalah jenis lom-berpasir seperti di stesen LSC, LSF dan LSG. Manakala sampel stesen LSB dan LSD adalah jenis lom. Pada stesen LSC, ditemui fabrik mineral kuarza terawet di mana warna asal telah berubah kepada coklat kemerahan, tidak homogen dan berbintik putih (Rajah 4).

KEHADIRAN SATAH KETAKSELANJARAN

Kehadiran satah ketakselajaran merupakan salah satu faktor utama dalam kestabilan cerun. Kehadiran struktur tektonik seperti kekar dan sesar atau pelapisan dan pelipatan akan menumpukan aliran air ke dalam jasad batuan atau tanah. Ia juga memerangkap mineral lempung di antara satahnya. Keadaan ini membolehkan berlakunya gelinciran antara satah pada keadaan yang sesuai (Sidle et al. 1985). Sungguhpun demikian kehadiran satah kekar hanya jelas diperhatikan di stesen LSA dan LC5. Kebiasaannya pada bahagian cerun yang terluluhawa tinggi struktur tersebut tidak jelas diperhatikan di kawasan kajian. Ini hanya jelas diwakili oleh sisa-sisa telerang kuarza yang mengisi kekar tersebut (Rajah 4).

PENGARUH VEGETASI DAN GEOMETRI CERUN

Pengaruh tumbuhan terhadap cerun dapat dikelaskan berdasarkan hidrologi dan mekanikal (Greenway 1987). Tumbuhan membantu meminimalkan hentaman hujan, menstabilkan regolith dan mengekalkan kecuraman cerun melalui sistem akar (Small 1989). Berdasarkan cerapan lapangan, kebanyakan cerun adalah terdedah dengan litupan vegetasi yang minima hingga hampir tiada. Menurut Mazlan et al. (1999) kehadiran vegetasi yang jarang meningkatkan berlakunya kegagalan cerun.

JADUAL 2. Taburan bilangan kegagalan cerun berdasarkan saiz dan jarak tinjauan

Jarak (km)*	Skala dan Bilangan Kegagalan Cerun			Jumlah
	Kecil	Sederhana	Besar	
1-2	1	2	1	4
2-3	2	3	0	5
3-4	5	0	0	5
4-5	5	1	0	6
5-6	8	1	0	9
6-7	4	2	1	7
7-8	4	1	1	6
8-9	3	2	1	6
9-10	2	0	1	3
10-11	7	1	0	8
11-11.4	1	0	0	1
Jumlah	42	13	5	60

* jarak bermula dari Pekan Ringlet ke Brinchang



RAJAH 4. Sebahagian fabrik mineral kuarza terawet dan sedikit berubah dalam matriks tanah. Lokality: LSC

Ketidakseimbangan wujud di mana bahagian atas ditumbuhi oleh tumbuhan bersaiz sederhana dan kecil yang akan meningkat bebanan bahan cerun. Keadaan ini menyebabkan bahagian permukaan cerun lebih terhakis dan bersifat lebih telap dan terbeban. Ini seterusnya akan mengurangkan kekuatan ricih antara butiran tanah dan seterusnya meningkatkan kecenderungan mengalami runtuh.

Geometri cerun bergantung kepada rupa bentuk dan kecuraman. Secara amnya cerun yang lebih curam cenderung mengalami kegagalan berbanding cerun yang landai (Walker et al. 1987). Geometri cerun meliputi ketinggian keseluruhan dan sudut muka cerun. Keadaan cerun yang tinggi dan bersudut besar meningkatkan tegasan ricih bahan cerun. Menurut Abdul Ghani Rafek dan Ibrahim Komoo (1988), sudut cerun yang melebihi 40° adalah terlalu curam bagi cerun yang melebihi 10m tinggi. Ini diperhatikan pada stesen LSA dengan ketinggian 10m dan sudut cerun sebesar 70°. Selain itu juga bentuk permukaan cerun turut mempengaruhi kegagalan cerun.

Kadar hakisan air larian ini banyak bergantung kepada halaju dan isipadunya selain faktor kekuatan bahan cerun (darjah luluhawa dan kehadiran satah ketakselanjaran). Kecerunan yang besar menyebabkan peningkatan kadar hakisan air larian. Menurut Ibrahim Komoo (1995), kawasan tropika lembap sering diancam oleh jenis kegagalan hakisan di mana air larian memainkan peranan utama terutama pada musim hujan. Halaju air larian dikawal pula oleh geometri sesuatu cerun itu. Menurut Pomeroy (1987), cerun yang berbentuk cekung mempunyai kecenderungan untuk gagal berbanding cerun cembung. Ini disebabkan proses luluhawa regolith adalah lebih aktif pada cerun cekung. Peningkatan tekanan liang yang lebih cepat pada cerun cekung juga menyebabkan berlaku penyusutan kekuatan ricih. Cerun berbentuk cekung diperhatikan pada kebanyakan stesen seperti stesen LSA, LSB, LSC, LSD, LSF, LC3, LC4 dan LC5. Cerun cembung pula ditemui di stesen LSE, LSG, LC1 dan LC2.

CIRIAN FIZIKO-KIMIA TANAH

Pensampelan tanah daripada bahagian potongan cerun dilakukan untuk melakukan analisis ciri-ciri fizikokimia tanah cerun. Ini hanya melibatkan beberapa cerun terpilih sebanyak tujuh stesen (LSA, LSB, LSC, LSD, LSE, LSF dan LSG). Sampel tanah yang dianalisis diambil dari kawasan cerun yang dikenalpasti sebagai stabil (S) dan cerun gagal (G) (Jadual 3). Analisis korelasi dilakukan terhadap parameter tertentu bagi melihat kekuatan hubungan di antara parameter-parameter tersebut (signifikan pada 0.05).

TABURAN SAIZ PARTIKEL

Analisis ini dilakukan bagi mengenal pasti tekstur sampel tanah berdasarkan pengelasan segitiga Ferret (Wilun & Starzewski 1972). Plot taburan saiz partikel ditunjukkan oleh Rajah 5(a) dan 5(b). Berdasarkan plot tersebut didapati kebanyakan sampel tanah adalah jenis lom berpasir (Lm-Pr) dan lom (Lm). Secara purata, tekstur lom bagi sampel LSB(A), LSB(B), LSD(B) dan LSG(A) mempunyai purata peratusan pasir yang hampir sama dengan lodak 47.1% dan 40.6% masing-masing tetapi purata lempung adalah lebih rendah iaitu 12.4%. Tanah jenis lom-berpasir pula menunjukkan purat peratusan yang jauh lebih tinggi iaitu 56.9% berbanding lodak (34.8%) dan lempung (8.4%). Ini ditunjukkan oleh sampel LSA(A), LSA(B), LC1(A), LC1(B), LSE(A), LSE(B), LSF(A), LSF(B) dan LSG(B).

Taburan saiz partikel dapat menggambarkan sesetengah ciri tanah seperti ketelapan air dan kekuatan ricih. Kehadiran partikel pasir dan yang lebih kasar adalah memudahkan tirsan air manakala tanah yang kurang daripada 10% atau lebih partikel saiz lempung sukar dimasuki air (Kenney 1984). Mineral lempung juga bertindak balas dengan pasir dengan kehadiran cas negatif humus bagi menggalakkan pembentukan agregat tanah. Ini ditunjukkan oleh hubungan kuat antara kandungan lempung dan pasir bagi cerun stabil (S) ($r = -0.82$).

JADUAL 3. Ringkasan hasil dari analisis parameter fiziko-kimia tanah cerun yang disampel di lapangan

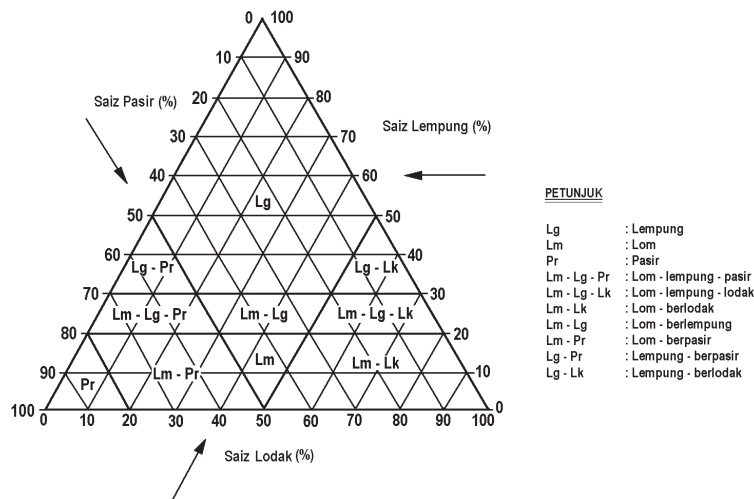
PARAMETER	Unit	LOKASI PENSAMPELAN																	
		LSA		LSB		LSC		LSD		LSE		LSF		LSG					
		S	G	S	G	S	G	S	G	S	G	S	G	S	G				
Kand. Air Tanah	%	16.29	15.10	27.09	19.30	22.97	19.28	22.31	21.82	22.84	20.91	19.21	16.39	21.12	17.57				
Kand. Air Tanah Tepu	%	40.21	31.01	46.34	41.94	37.00	41.57	35.85	31.95	40.75	28.18	35.57	29.71	40.03	34.12				
Kand. Bahan Organik	%	0.60	0.16	3.24	1.37	0.94	1.26	2.97	3.56	3.06	1.01	3.26	2.78	3.20	2.95				
Ketumpatan Sebenar	gcm ⁻³	2.75	2.77	2.67	2.73	2.74	2.73	2.68	2.66	2.68	2.74	2.67	2.69	2.67	2.68				
Ketumpatan Pukal	gcm ⁻³	1.23	1.26	1.10	1.19	1.21	1.20	1.11	1.09	1.11	1.21	1.10	1.12	1.10	1.11				
Keliangan	%	55.13	54.41	58.83	56.30	55.70	56.13	58.50	59.23	58.61	55.76	58.87	58.24	58.78	58.47				
pH Tanah		5.18	5.07	4.94	4.59	4.89	4.46	5.06	5.04	4.68	4.61	4.45	4.48	4.76	4.47				
Kand. Jumlah Fe Oksida	%	3.11	3.11	3.53	3.11	3.50	3.36	3.56	2.85	3.58	3.94	3.17	4.13	3.23	3.04				
Koef. Serakan Liat	%	3.71	23.06	7.21	13.29	5.62	6.52	13.48	5.70	17.69	16.83	28.64	6.55	40.42	0.17				
Taburan Saiz Partikel																			
Pasir	%	57.7	63.2	47.0	47.3	51.5	50.0	48.5	47.3	52.8	57.3	62.6	53.6	62.8	45.3				
Lodak	%	29.3	33.0	36.7	40.3	39.8	39.1	46.5	44.4	31.5	40.2	34.7	40.2	24.9	34.9				
Lempung	%	13.0	3.5	16.3	12.4	8.6	10.9	5.1	8.3	15.7	2.3	2.7	6.2	12.3	19.7				
Pengelasan Ferret		Lm-Pr	Lm-Pr	Lm	Lm	Lm-Pr	Lm-Pr	Lm	Lm	Lm-Pr	Lm-Pr	Lm-Pr	Lm-Pr	Lm-Pr	Lm				

Nota:

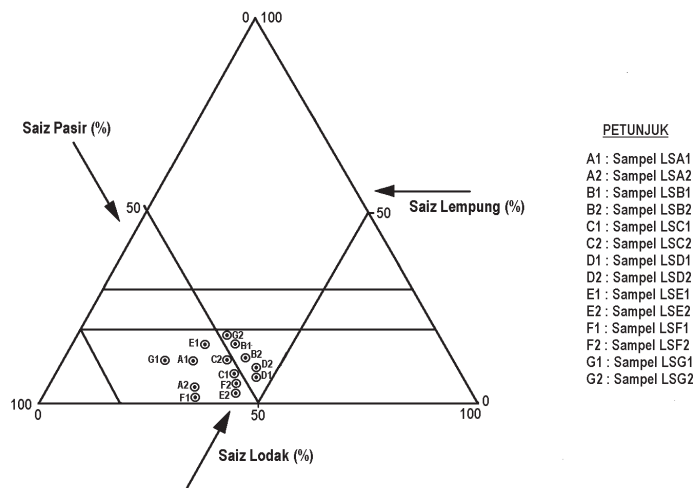
S - sampel tanah cerun stabil

G - sampel tanah cerun gagal

L.SA - merujuk kepada nama stesen pensampelan



RAJAH 5(a). Carta segitiga Ferret untuk pengelasan tekstur tanah. (Wilun & Starzewski 1972)



RAJAH 5(b). Pengelasan tekstur sampel tanah di kawasan kajian

Menurut Abd Rashid (1996), cerun tanah yang mengandungi lempung melebihi 50% adalah tidak stabil dan risiko ketidakstabilan semakin meningkat sekiranya lempung melebihi 70%. Ini disebabkan lempung mudah dipengaruhi oleh keadaan anaerobik apabila lembap mengakibatkan potensi redoks menurun. Keadaan ini menyumbang kepada pelarutan ferum oksida yang bertindak sebagai penyimen antara butiran tanah. Kandungan lempung juga mengurangkan kestabilan melalui keupayaan pemegangan air menyebabkan tanah mencapai ketepuan dengan cepat. Namun demikian, analisis korelasi menunjukkan kandungan lempung yang tinggi tidak menyumbang kepada kegagalan cerun di kawasan kajian. Ini kerana kandungan lempung dalam kebanyakan sampel adalah rendah (kurang 50%).

KOEFISIEN SERAKAN LEMPUNG

Penggunaan kandungan lempung sebagai penentu serakan adalah sesuai secara teori kerana lempung merupakan partikel halus yang bergabung dengan bahan organik untuk membentuk tanah. Serakan disebabkan oleh partikel koloid

yang kecil (lempung) dan cas negatif atau kation hidrat yang menyalutinya. Keadaan ini digalakkan oleh pH yang rendah di mana keelektronegatifan adalah berada pada tahap maksima. Selain itu ion monovalen seperti Na⁺ yang berikatan lemah merupakan penyebab berlaku serakan (Brady 1984). Serakan partikel lempung boleh dikurangkan dengan meminimakan cas negatif pada koloid atau meningkatkan kapasiti pertukaran kation terutama kalsium (Tan 1994).

Sifat serakan lempung boleh menyumbat ruang rongga permukaan tanah mengakibatkan penakungan air dan air larian permukaan (Baver et al. 1972). Ini menyumbang kepada peningkatan beban bahan cerun dan tirsan air larian sehingga berlakunya jatuhnya cerun melalui satah-satah lemah. Air tirsan meresap melalui satah dan melemahkan kekuatan geoteknik dan kejelekitan tanah kesan tarikan ke bawah cerun oleh tarikan graviti (Vun 1999).

Hasil analisis menunjukkan sampel tanah mempunyai koefisien serakan lempung berjulat antara 0.17% - 40.42% (Jadual 3). Nilai koefisien pada cerun stabil LSA, LSB dan LSC mungkin faktor penggalak kepada kegagalan cerun

pada lokaliti tersebut. Manakala nilai koefisien yang tinggi pada cerun gagal LSD, LSE, LSF dan LSG akan menggalakkan lagi cerun tersebut untuk mengalami kegagalan yang berulang sekiranya langkah tebatan sewajarnya tidak diambil.

Analisis korelasi menunjukkan hubungan kuat antara kandungan organik dan koefisien serakan pada cerun stabil yang kuat ($r = -0.84$; signifikan pada 0.05). Sampel tanah pada cerun stabil juga koefisien serakan lempung mempunyai hubungan kuat dengan ketumpatan pukal ($r = 0.85$), sebenar ($r = 0.86$) dan keliangan ($r = -0.86$).

KANDUNGAN AIR TANAH SEGAR DAN TEPU

Air bertindak mempengaruhi interaksi antara partikel tanah (Kez' di 1974). Kandungan air tanah berbeza-beza bergantung kepada jenis tekstur tanah. Berdasarkan analisis makmal peratus kandungan air tanah berjulat 15.10% hingga 27.09% (Jadual 3). Terdapat hubungan yang kuat antara kandungan air tanah segar pada cerun stabil dengan kadungan kelodak ($r = 0.80$). Kandungan air tanah tepu adalah berjulat antara 28.18% hingga 46.34% (Jadual 3). Sampel bagi cerun gagal menunjukkan hubungan kuat antara kandungan air tanah tepu dengan kandungan lempung ($r = 0.87$). Ini disebabkan keupayaan partikel lempung memegang air dan mencapai ketepuan dalam masa yang singkat.

Kandungan air dalam tanah akan mengurangkan tegasan normal kesan dari tekanan positif air yang dapat mengurangkan tegasan ricih antara butiran. Kandungannya yang tinggi akan menggalakkan pergerakan antara partikel tanah dan antara satah-satah lemah (Zulfahmi et al. 1999).

KANDUNGAN BAHAN ORGANIK

Hasil analisis makmal kandungan bahan organik sampel tanah yang dikaji ditunjukkan dalam Rajah 11. Menurut skema pengelasan kandungan bahan organik yang dicadangkan oleh Acres et al. (1975) dalam Jadual 4 didapati semua sampel tanah di kawasan kajian mengandungi bahan organik yang rendah (kurang daripada 4%) iaitu dalam julat 0.16%-3.56 % sahaja.

Kohnke (1968) dan Goldberg et al. (1988) menyatakan bahawa bahan organik tanah adalah penting sebagai agen pengikat dalam pembentukan agregat tanah dan juga menstabilkan struktur tanah. Pereputan bahan organik dalam tanah akan menghasilkan unsur kimia yang mengambil tempat antara partikel lempung untuk membentuk agregat supaya meningkatkan kadar

penyusupan dan ketelapan air pada tanah serta meminimumkan hakisan tanah. Ini adalah sangat penting dalam tanah yang mempunyai kandungan pasir yang tinggi kerana kehadiran bahan organik akan membantu memperbaiki agregat tanah berpasir dan menyebabkannya kurang telap kepada air. Gabungan antara bahan organik dengan partikel terutamanya partikel lempung akan membentuk agregat yang stabil daripada tindakan air. Shamsuddin Jusop (1981) mendapati tanah yang mengandungi bahan organik yang tinggi berupaya membentuk agregat yang stabil berbanding dengan yang kurang bahan organik. Pembentukan agregat ini adalah disebabkan oleh sifat penyerapan kation daripada bahan organik pada koloid tanah terutamanya kation-kation seperti Ca^{2+} dan Mg^{2+} (Brady 1984). Agregat yang stabil akan menyumbang kepada kestabilan tanah terutamanya pada muka cerun potongan bukit (Zulfahmi et al. 1997).

Menurut Morgan (1995), tanah yang mempunyai kandungan bahan organik kurang daripada 3.5% dianggap mempunyai keagregatan yang lemah dan mudah terhakis. Berdasarkan hasil analisis yang diperolehi, didapati bahawa hampir semua sampel tanah di kawasan kajian mempunyai keagregatan yang lemah dan mudah terhakis menyebabkan tanah pada cerun menjadi tidak stabil. Walaupun sampel tanah LSD2 didapati mempunyai kandungan bahan organik yang melebihi 3.50% iaitu 3.56%, ia mungkin juga mempunyai keagregatan yang lemah dan mudah terhakis kerana perbezaan kandungan yang tidak begitu ketara.

KETUMPATAN PUKAL, SEBENAR DAN KELIANGAN

Nilai ketumpatan sebenar tanah adalah dipengaruhi oleh kandungan kimia dan struktur kristal partikel mineral tanah tersebut. Ia juga dipengaruhi oleh kandungan bahan organik tanah tersebut di mana kandungan bahan organik yang tinggi akan mengurangkan nilai ketumpatan sebenar tanah. Nilai ketumpatan sebenar yang tinggi akan meningkatkan kestabilan tanah terutamanya di bahagian muka cerun (Zulfahmi et al. 1997). Nilai ketumpatan sebenar sampel tanah kawasan kajian didapati secara relatifnya adalah rendah (2.66 - 2.77 gcm^{-3}). Ini akan meningkatkan risiko ketidakstabilan cerun.

Nilai ketumpatan pukal tanah pula dipengaruhi oleh jumlah ruang rongga dan pepejal tanah di mana tanah yang mengandungi nisbah ruang rongga terhadap pepejal tanah yang tinggi akan mempunyai ketumpatan pukal yang rendah. Nilai ketumpatan ini juga dipengaruhi oleh kehadiran bahan organik dan tekstur tanah. Tanah yang terdiri daripada partikel halus dan mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi akan mempunyai ketumpatan pukal yang lebih rendah berbanding dengan tanah yang terdiri daripada partikel kasar dan kandungan bahan organik yang rendah. Analisis makmal mendapati nilai ketumpatan pukal sampel tanah adalah 1.09 - 1.26 gcm^{-3} di mana sampel LSB(S), LSB(G), LSC(S), LSD(G), LSD(S), LSE(G), LSF(S) dan LSG(S) mempunyai ketumpatan pukal yang lebih rendah berbanding sampel lain dengan kandungan bahan organik dan saiz partikel halus yang lebih tinggi. Kehadiran

JADUAL 4. Skema pengelasan kandungan bahan organik

Kandungan bahan organik tanah (%)	Deskripsi
Lebih daripada 20	Sangat tinggi
10-20	Tinggi
4-10	Sederhana
2-4	Rendah
Kurang daripada 2	Sangat rendah

bahan organik juga akan mengurangkan ketumpatan pual dengan meningkatkan keporosan bagi agregat tanah (Brady 1984).

Peratusan ruang rongga (keporosan) pula secara relatifnya adalah tinggi iaitu dari julat 54.41% - 59.23%. Keporosan tanah adalah bergantung kepada keadaan tanah tersebut seperti tekstur tanah, kandungan bahan organik dan juga taburan saiz partikel tanah. Tanah berpasir akan mempunyai keporosan 35% - 50% manakala tanah yang bertekstur sederhana hingga halus akan mempunyai keporosan 40%-60%. Ini akan digalakkan oleh kandungan bahan organik yang tinggi dan taburan saiz partikel yang baik (Brady 1984). Hasil analisis korelasi menunjukkan bahawa peratusan keporosan pada cerun stabil mempunyai hubungan yang kuat dengan koefisien serakan lempung ($r = -0.86$).

Bahan cerun yang mempunyai sifat keporosan yang tinggi dapat menyimpan air yang banyak dan akan menambahkan daya mengganggu pada bahan cerun. Pertambahan daya mengganggu ini akan menyebabkan jisim bahan cerun menjadi tidak stabil (Ibrahim Komoo 1984). Pertambahan keporosan dikatakan akan merendahkan kekuatan tanah (Price 1966; Dube & Singh 1969). Ini adalah disebabkan oleh konsentrasi tegasan ke atas sempadan liang yang menurunkan nilai kekuatan tanah, pengurangan dalam sentuhan butiran tanah yang menyebabkan pengurangan dalam kekuatan serta pengisian liang-liang oleh air atau cecair lain yang mungkin akan membantu dalam pengembangan retakan akibat dari tindak balas pada titik konsentrasi tegasan atau dengan penurunan tenaga permukaannya.

pH TANAH

Menurut pengelasan yang dicadangkan oleh Leeper (1964), julat pH tanah boleh dibahagikan kepada lima kumpulan seperti dalam Jadual 5. Hasil analisis mendapati pH tanah di kawasan kajian adalah dalam julat 4.45 - 5.18 yang dapat dikategorikan sebagai sangat berasid (Jadual 3).

Keasidan dan kealkalian tanah adalah disebabkan oleh interaksi di dalam tanah (Tan 1994). Faktor yang mengawal keasidan dan kealkalian tanah adalah bahan organik dan jenis serta jumlah kation yang hadir. Kandungan bahan organik yang tinggi akan merangsangkan keasidan kecuali adanya keseimbangan antara bahan organik dengan kepekatan kation yang tinggi dalam tanah (Fitzpatrick 1974). Hasil analisis korelasi menunjukkan bahawa hubungan antara kandungan bahan organik dan pH tanah cerun gagal dan stabil adalah lemah dengan $r = -0.57$ dan $r = -0.11$ masing-masing. Ini menunjukkan bahawa nilai pH sampel tanah mungkin disebabkan oleh faktor lain seperti kehadiran vegetasi, suhu dan taburan hujan sekitaran, batuan induk tanah, proses luluhawa dan sebagainya (Brady 1984).

Nilai pH tanah akan mempengaruhi jumlah ferum oksida dan hidroksida dalam tanah pada cerun yang stabil dan tidak stabil. pH tanah yang sangat rendah akan

JADUAL 5. Pengelasan pH tanah

Kumpulan	Julat pH tanah
Sangat beralkali	8.5-10
Sederhana beralkali	7.5-8.5
Neutral	6.5-7.5
Sederhana berasid	5.5-6.5
Sangat berasid	4.0 (atau kurang) -5.5

Leeper 1964

menyebabkan kandungan ferum dalam tanah rendah. Ini adalah kerana nilai pH tanah yang sangat rendah akan mempercepatkan kadar pelarutan ferum melalui pemprotonan ataupun penurunan (Abd. Rashid 1996). Walau bagaimanapun, terdapat hubungan antara pH dan jumlah ferum oksida dalam sampel tanah cerun gagal dan stabil adalah lemah dengan $r = 0.10$ dan $r = -0.51$ masing-masing. Ini menunjukkan bahawa kandungan ferum oksida dalam sampel adalah dipengaruhi oleh faktor lain.

JUMLAH FERUM OKSIDA

Kepaduan efektif bahan cerun merupakan satu parameter yang menyumbang kepada kekuatan ricih bahan-bahan cerun terutamanya tanah. Sebahagian besar daya kohesif adalah berasal daripada ikatan elektrostatik, bahan tersimen dan air. Sumbangan oleh bahan tersimen kepada kekuatan kohesif adalah dianggap mempunyai kepentingan terbesar kepada kestabilan cerun jenis tanah. Ferum oksida merupakan salah satu bahan tersimen yang paling biasa dalam tanah. Agregat yang stabil dalam tanah oksida biasanya mempunyai hubungan yang rapat dengan ferum oksida dan silikat lempung. Mekanisme pembentukan ferum oksida ditunjukkan oleh Kirk et al. (1990).

Penyimenan akan mengambil alih tempat pertumbuhan kristal ferum oksida dalam liang dan mengisi ruang antara liang untuk menghasilkan interaksi antara kristal ferum oksida dengan partikel tanah yang lain. Kandungan ferum oksida yang tinggi dalam tanah akan menghasilkan ikatan antaramatrik bagi partikel yang kuat. Ikatan ini biasanya tidak dapat dimusnahkan oleh daya penyerakan tetapi boleh melalui pelarutan ferum oksida. Mekanisme umum bagi pelarutan ferum oksida ini telah dibincangkan oleh Blesa et al. (1994).

Menurut Abd Rashid (1996), kandungan ferum yang kritikal adalah lebih kurang 6% di mana kandungan ferum dalam tanah cerun yang kurang daripadanya adalah tidak stabil ataupun mempunyai potensi untuk menjadi tidak stabil. Hasil analisis makmal menunjukkan bahawa jumlah ferum oksida dalam sampel tanah adalah dalam julat 2.85% (LSD(S)) dan 4.13% (LSF(S)) dengan sisihan piawai 0.60% iaitu adalah kurang daripada 6%. Didapati jumlah ferum oksida adalah lebih rendah dalam sampel lokasi LSA berbanding yang lain walaupun nilai pHnya lebih tinggi. Ini mungkin disebabkan oleh pengaruh luaran seperti hujan, litupan vegetasi dan juga aktiviti manusia.

Keputusan menunjukkan bahawa jumlah ferum oksida yang rendah dalam tanah cerun dikaji memainkan peranan dalam menyumbang kepada kegagalan cerun di kawasan kajian.

KESIMPULAN

Hasil cerapan lapangan menunjukkan bahawa jenis cerun yang gagal adalah cerun tanah dan terdiri daripada kegagalan jenis gelinciran cetek dan dalam. Geometri cerun seperti ketinggian cerun yang tinggi dan sudut muka cerun yang curam merupakan salah satu faktor penyumbang kepada kegagalan cerun kawasan kajian. Ini digalakkan juga oleh ketaksesuaian bentuk cerun cekung pada kebanyakan cerun. Sifat peroi bahan gred V profil luluhawa yang senang dihakis oleh aliran air pada kebanyakan cerun juga merupakan faktor penyebab utama kegagalan cerun. Litupan vegetasi permukaan cerun yang kurang dan hampir tiada mendedahkan permukaan cerun kepada tindakan air terutamanya hentaman hujan. Tindakan oleh air hujan ini akan melonggarkan ikatan antara butiran lalu menyebabkan kegagalan cerun.

Sifat fiziko-kimia bahan cerun (tanah) seperti taburan saiz partikel, pH, kandungan ferum oksida, bahan organik, kandungan air, ketumpatan pukal dan sebenar serta keporosan didapati memainkan peranan sebagai faktor yang mempengaruhi kestabilan cerun tertentu yang dikaji. Julat pH tanah yang rendah (sifat asidik) pada semua cerun mengurangkan kandungan ferum oksida dalam tanah yang bertindak sebagai bahan penyemen tanah. Walau bagaimanapun, bilangan sampel tanah setiap stesen yang diambil adalah tidak mencukupi untuk mewakili sesuatu cerun yang dipilih. Oleh itu, adalah perlu untuk menambah bilangan stesen dan sampel tanah bagi melihat dan menilai hubungan antara parameter-parameter yang dikaji dengan ketidakstabilan cerun yang berlaku dengan lebih baik dan tepat.

PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan terima kasih di atas pembiayaan projek penyelidikan ini melalui peruntukan geran UKM ST/6/2001 sehingga selesai. Tidak dilupakan kepada kakitangan makmal Program Sains Sekitaran, FSSA dan Program Geologi, FST, UKM, yang terlibat di lapangan dan kerja-kerja makmal terutama dalam penyediaan sampel untuk analisis selanjutnya.

RUJUKAN

- Abdul Ghani Rafek & Ibrahim Komoo. 1988. Faktor penyebab utama kegagalan cerun di lebuhraya timur-barat, Semenanjung Malaysia: *Laporan Teknik FSFG*. Universiti Kebangsaan Malaysia: 126.
- Abd. Rashid Ahmad. 1996. The effect of physico-chemical characteristics of soils on slope stability. *Seminar Geologi dan Sekitaran*. Universiti Kebangsaan Malaysia. 6 -8 Disember 1996.
- Acres, B.D., Bowen, R.P., Burrough, P.A., Folland, C.J., Kalasi, M.S., Thomas, P. & Wright, P.J. 1975. *The soil of Sabah: classification and description (with an introduction to vol. 1-5)*. Jil. 1. England: Land Resources Division, Ministry of Overseas Development Tolworth Tower.
- Anon. 1999. Penyiasatan geologi kejuruteraan kawasan Cameron Highlands, Pahang *Laporan projek kajian integrasi geologi Cameron Highlands*, Pahang. Jabatan Penyiasatan Kaji Bumi Malaysia.
- Baver, L.D., Gardner, W.R. & Gardner, W.H. 1972. *Soil physics*. 4th ed., New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Bignell, J.D. & Snelling, N.J. 1977. *Overseas geology and mineral resources number 47: the geochronology of the Malayan granites*. London: Her Majesty's Stationery Office.
- Blesa, M.A., Morando, P.J. & Regazzoni, A.E. 1994. *Chemical dissolution of metal oxides*. Florida: CRC Press.
- Brady, N.C. 1984. *The nature and properties of soils*. 9th ed. New York: MacMillan Publishing Company.
- Dearman, W.R. 1995. Description and classification of weathered rocks for engineering purposes: The background to the BS5930: 1981 proposal, *Quarterly Journal of Engineering Geology*. 28(3): 267-276.
- Dube, A.K. & Singh, B. 1969. Determination of tensile strength of rocks by disc test method. *Journal Minerals Metal and Fuels*: 305-307.
- Fitzpatrick, E.A. 1974. *An introduction to soil science*. Edinburgh: Oliver & Boyd Ltd.
- Gobbet, D.J. & Hutchison, C.S. (pnyt.). *Geology of the Malay Peninsula: West Malaysia and Singapore*, hlm. 143-176. New York: John Wiley-Interscience.
- Goldberg, S., Glaubig, R.A. & Suarez, D.L. 1988. Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid zone soils. *Soil Science* 146(5): 317-325.
- Greenway, D. R. 1987. Vegetation and slope stability. Dlm. *Slope stability*, Anderson, M. G. & Richards, K.S. (pnyt). Chichester: John Wiley & Sons.
- Ibrahim Komoo. 1984. Masalah kestabilan cerun di Malaysia. *Prosiding Simposium Penyelidikan dan Perkembangan Dalam Sains Fisis dan Gunaan*, hlm. 277-293.
- Ibrahim Komoo. 1985. Pengelasan kegagalan cerun di Malaysia. *Ilmu Alam* 14 & 15: 47-58.
- Ibrahim Komoo. 1987. Survei kegagalan cerun di kawasan Selangor. *Sains Malaysiana* 16(1): 1-14.
- Ibrahim Komoo & Mogana, S.N. 1988. Physical characterization of weathering profile of classic metasediments in Peninsular Malaysia. *Proc. 2nd Int. Conf. Geomech. In Tropical Soil*. 1: 37-42.
- Ibrahim Komoo & Jasni Yaakub. 1990. Engineering properties of weathered metamorphic rocks in Peninsular Malaysia. *Proc. 6th Int. Assoc. Engng. Geol. Cong.* 1: 665-672.
- Ibrahim Komoo, 1995. Geologi Kejuruteraan Perspektif Rantau Tropika Lembap. Bangi: Universiti Kebangsaan Malaysia
- Kenney, C.1984. Properties and behaviour of soils relevant to slope instability. Dlm. *Slope instability*, Brunsdon, D. & Prior, D.B. (pnyt.) US: John Wiley & Sons Ltd.
- Kez'di, A. 1974. *Handbook of soil mechanics*. Jil.1: Soil Physics. New York: Elsevier Publishing Company.
- Kirk, G.J.D., Ahmad, A.R. & Nye, P.H. 1990. Coupled diffusion and oxidation of Ferrous iron in soils II : a model of the diffusion and reaction of O₂, Fe²⁺, H⁺ and HCO³⁻ in soils and a sensitivity analysis of the model. *Soil Science* 41: 411-431.

- Kohnke, H. 1968. *Soil physics*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Leeper, G. W. 1964. *Introduction to soil science*. 4th ed. Australia: Melbourne: University Press.
- Mazlan Mohamad Zain, Mohd. Sidi Daud & Zahir Yahya. 1999. *Kajian awal Potongan cerun struktur utama di negeri Pahang Darul Makmur*. Kuala Lumpur: Jabatan Penyiasatan Kaji Bumi Malaysia.
- Morgan, R.P.C. 1995. *Soil erosion and conservation*. 2nd ed. London: Longman.
- Pomeroy, J.S. 1987. *Slope stability in the Mariette Area, Washington County, Southeastern Ohio*. Denver: Department of the Interior, US.
- Price, N. J. 1966. *Fault and joint development in brittle rock and semibrittle rock*. Oxford: Pergamon Press.
- Shamshuddin Jusop. 1981. *Asas sains tanah*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Siddle, R.C., O'Loughlin, C.C. & Pearce, A.J. 1985. *Hillslope stability and landuse*. Washington, D.C.: American Geophysical Union.
- Small, R.J. 1989. *Geomorphology and Hydrology*. Longman Group UK Ltd.
- Scrivenor J. B. 1931. *The geology of Malaya*. London: Memillah.
- Tan, K.H. 1994. *Environmental soil science*. New York: Marcel Dekker.
- Tjia, H. D. 1973. Geomorphology. Dlm. *Geology of the Malay Peninsula: West Malaysia and Singapore*, Gobbet, D. J. & Hutchinson, C. S. (pnyt.). New York: John Wiley-Interscience.
- Vun B. O. 1999. Geologi dan struktur dengan penekanan kepada kestabilan cerun kawasan Cyberjaya, Selangor Darul Ehsan. Tesis Sarjana Muda. Universiti Malaya.
- Walker, B.F., Blong, R.J. & MacGregor, J.P. 1987. Landslides classification, geomorphology and site investigations. Dlm. *Soil slope instability and stabilization*, Walker, B.F. & Fell (pnyt). Rotterdam: A.A. Balkema.
- Wilun, Z. & Starzewski, K. 1972. *Soil mechanics in engineering practise*. New York: John Wiley & Sons.
- Zulfahmi A. R., Sahibin, A.R. & Jasni, Y. 1997. Pemetaan taburan dan penilaian potensi kegagalan cerun kawasan Puchong dan sekitarnya. Laporan Akhir Penyelidikan, A/4/99 UKM (tidak diterbitkan).
- Zulfahmi Ali Rahman, Geri Gopir & Sahibin Abdul Rahim. 1999. The physico-chemical characteristics of weathered soil slope in Bangi Lama, Selangor. *Prosiding Malaysian Science and Technology Congress 99*: 208 -215.
- Zulfahmi Ali Rahman, Sahibin Abd. Rahim & Wan Muhd Razi Idris
Program Sains Sekitaran
Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi Selangor D.E.
Malaysia
- Jasni Yaakob
Institut Alam Sekitar dan Pembangunan (LESTARI)
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi Selangor D.E.
Malaysia
- Diserahkan: 29 Januari 2007
Diterima : 16 Februari 2007