

## Pemetaan Geobahaya Berdasarkan Kaedah Faktor Penilaian Tanah Runtuh (LHEF) di Empangan Sultan Mahmud, Tasik Kenyir, Kuala Berang, Terengganu

(Geohazard Mapping Based on the Landslide Hazard Evaluation Factor (LHEF) Method at Sultan Mahmud Dam,  
Tasik Kenyir, Kuala Berang, Terengganu)

MOHAMAD ANURI GHAZALI<sup>1,\*</sup>, MOHD ROZI UMOR<sup>2</sup> & ABDUL GHANI MD RAFEK<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>*Geo Mag Engineering, No 31B, Level 2, Jalan Pelabur B, 23/B, Seksyen 23, 40300 Shah Alam, Selangor, Malaysia*

<sup>1,2</sup>*Geology Programme, School of Environmental and Natural Resources, Faculty of Science and Technology,  
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia*

*Diserahkan: 31 Mac 2023/Diterima: 15 Jun 2023*

### ABSTRAK

Kajian pemetaan potensi tanah runtuh telah dilakukan dengan menggunakan kaedah Faktor Penilaian Tanah Runtuh (LHEF) di Empangan Sultan Mahmud, Tasik Kenyir yang melibatkan kawasan tanah tinggi dengan litologi batuan granit, cerun potong kejuruteraan dan cerun semula jadi. Kaedah pemetaan LHEF sangat berguna kepada perancang bandar bagi tujuan pembangunan kawasan untuk memastikan secara relatif kawasan tersebut selamat. Permasalahan dalam kajian ini adalah kawasan kajian yang berbukit dan berbatu yang curam yang mana agak sukar untuk memperoleh data. Sebanyak enam (6) parameter dipertimbangkan dalam penilaian geobahaya cerun iaitu litologi, struktur geologi, morfometri cerun, penurunan relatif, guna tanah dan tutupan tanah serta keadaan hidrogeologi. Hasil daripada penilaian yang dijalankan diplotkan di dalam peta geobahaya potensi tanah runtuh. Penentuan kaedah pemetaan geobahaya sesuatu kawasan perlu mengambil kira keadaan sesuatu bagi memastikan pemetaan geobahaya yang dijalankan menghasilkan keputusan yang tepat. Sebanyak 858 cerun telah dinilai di dalam kajian ini yang merangkumi kawasan kajian 1, 2 dan 3. Didapati 699 cerun dizonkan sebagai geobahaya sederhana, 87 cerun dizonkan sebagai geobahaya tinggi dan hanya 72 cerun dizonkan sebagai geobahaya rendah. Secara asasnya ciri cerun yang dikategori sebagai geobahaya rendah adalah landai, tiada hakisan dan tiada struktur geodinamik. Zon geobahaya cerun sederhana pula adalah cerun yang mempunyai kecerunan sederhana curam, hakisan alur dan galur. Cerun yang dikategori sebagai geobahaya tinggi mempunyai struktur geodinamik seperti tegangan, rekahan, kecerunan melebihi 45 darjah, batu tongkol yang longgar, runtuh lama, hakisan dan ketakselanjaraan yang recam.

Kata kunci: Faktor Penilaian Tanah Runtuh; skor geobahaya; Tasik Kenyir

### ABSTRACT

A landslide potential mapping study was conducted using the Landslide Hazard Evaluation Factor (LHEF) method at Sultan Mahmud Dam on Tasik Kenyir, which includes upland areas with granite rock, artificial slopes, and natural slopes. The LHEF mapping method is very useful for urban planners in developing areas to ensure that the area is relatively safe. The problem with this study is that the study area is a hilly, steep, rocky area where it is quite difficult to obtain data. A total of six (6) parameters are considered in the assessment of slope geohazards, namely lithology, geological structure, slope morphometry, relative subsidence, land use and land cover, and hydrogeological conditions. The results of the assessment carried out are presented in the geohazard map of potential landslides. When determining the method for mapping landslides in an area, the situation must be taken into account to ensure that the landslide mapping carried out provides accurate results. In this study, a total of 858 slopes were assessed which included study areas 1, 2, and 3. It was found that 699 slopes were classified as moderate hazard, 87 slopes as high hazard and only 72 slopes as low hazard. The characteristics of slopes classified as low geological risk are essentially slope, no erosion and no geodynamic structure. Slopes classified as moderate hazard have moderately steep slope, erosion of furrows and stresses. Slopes classified as high hazard are those that have geodynamic structures such as stresses, cracks, slopes greater than 45 degrees, loose cobbles, old ruins, erosion, and severe discontinuities.

Keywords: Geohazards rating; Landslide Hazard Evaluation Factor (LHEF); Tasik Kenyir

## PENDAHULUAN

Di Malaysia, beberapa kaedah pemetaan geobahaya telah dibangunkan bagi menilai tahap potensi tanah runtuh. Kaedah yang dijalankan di Malaysia adalah seperti Sistem Penilaian Cerun Model B (SAS B) dan pemetaan teren, manakala di peringkat antarabangsa pula adalah seperti Perkadaran Jasad Batuan (SMR) dan Faktor Penilaian Bahaya Tanah Runtuh (LHEF). Kaedah pemetaan LHEF sangat berguna kepada perancang bandar untuk menentukan sesuatu kawasan adalah selamat bagi tujuan pembangunan (Anbalagan & Singh 1996; Anbalagan, Chakraborty & Kohli 2008; Bowman & Lund 2016). Manakala SAS-B pula berguna bagi tujuan untuk meramalkan potensi kejadian tanah runtuh di kawasan batuan granit (Chandel, Brar & Chauhan 2011).

Pendekatan sistematik penilaian cerun batuan menggunakan kaedah Perkadaran Jasad Batuan (SMR) adalah kaedah yang praktikal untuk penilaian kestabilan lereng bukit yang luas dan keputusan kebarangkalian nilai kegagalan akan membantu jurutera untuk merangka langkah mitigasi yang sesuai (Ainul Mardhiyah et al. 2018; Bieniawski 1989; Goh et al. 2018). Kajian kestabilan cerun batuan menggunakan kaedah perkadaran jasad batuan (SMR) juga telah banyak dilakukan oleh pengkaji terdahulu (Abdul Ghani et al. 2019; Chau et al. 2004; Zulfahmi 1999). Penilaian kestabilan cerun di Empangan Sultan Mahmud menggunakan Sistem Penilaian Cerun Model B (SAS B) telah dilakukan dan didapati bersesuaian untuk digunakan bagi memetakan skor geobencana bagi cerun jenis tanah potongan kejuruteraan (Mohamad Anuri Ghazali et al. 2022).

Kertas ini membincangkan hasil kajian pemetaan geobahaya menggunakan kaedah Faktor Penilaian Bahaya Tanah Runtuh (LHEF) di Empangan Sultan Mahmud, Tasik Kenyir, Kuala Berang, Terengganu. Tujuan kajian ini adalah untuk melihat kesesuaian kaedah LHEF untuk memetakan cerun yang berpotensi gagal dengan mengelaskan ia kepada kelas geobencana tertentu menggunakan parameter yang dicadangkan oleh Anbalagan dan Singh (1996).

Kawasan kajian telah dibahagikan kepada 3 iaitu tapak kajian 1, 2 dan 3 (Rajah 1). Tapak kajian 1 meliputi cerun batuan dan kawasan struktur binaan manusia yang terdapat bilik operasi, pejabat dan penjana kuasa di kawasan tersebut. Sementara tapak kajian 2 merupakan beberapa cerun batuan dan cerun tanah, pencawang serta kawasan hutan tebal. Tapak kajian 3 pula kebanyakannya diliputi dengan cerun tanah, kawasan

hutan tebal dan pencawang. Talian penghantar terletak di kawasan berbukit di tapak kajian 2 dan 3.

Tasik Kenyir dan kawasan sekelilingnya terdiri daripada pelbagai jenis batuan yang berusia Paleozoik Akhir sehingga Mesozoik Akhir (Cobbing 1992; Ghani 2004; M. Hatta et al. 2018). Batuan sedimen klastik terdiri daripada batu pasir berselang lapis dengan unit syal berlaminasi, batu lodak yang nipis dan tebal bersama batu kapur yang merupakan asalan sedimen marin cetek. Unit batuan sedimen yang paling muda-berusia Jura-Kapur membentuk bahagian daratan di bahagian utara Tasik Kenyir. Unit ini juga membentuk batuan di Gunung Gagau yang terletak di pertemuan tiga negeri iaitu Terengganu, Pahang dan Kelantan. Selain itu, batu kapur juga tersingkap di Bukit Biwah dan Bukit Taat di Tasik Kenyir yang ditafsirkan terbentuk pada usia Perm (Che Aziz, Shafeea & Kamal Roslan 2004).

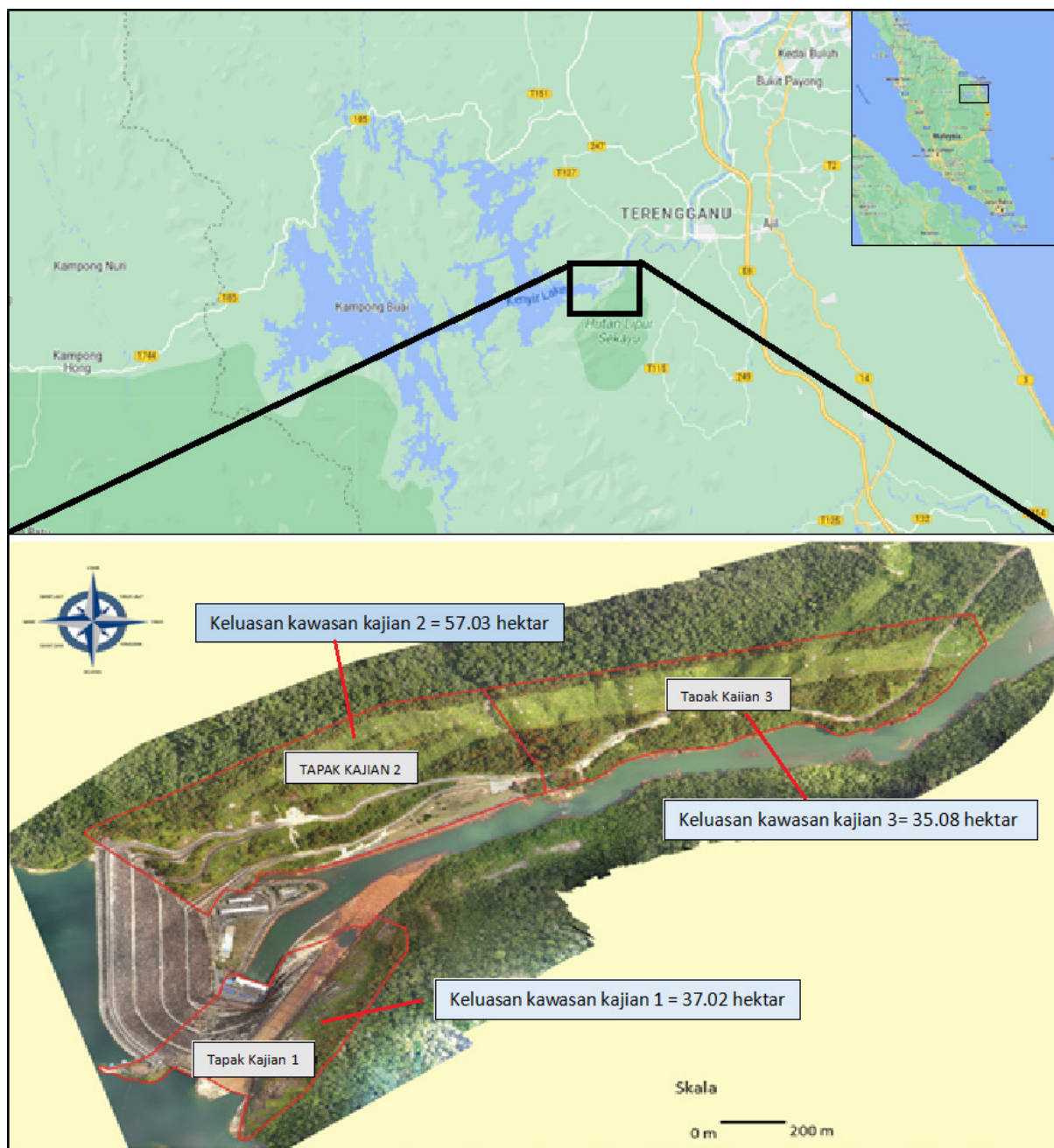
Empangan Kenyir terletak di dalam jasad batuan granit biotit berbutir kasar yang dipotong dengan siri telerang dolerit yang berkelebaran antara 5.0 cm hingga 2.0 m. Jurus telerang ini adalah berarah timurlaut - timur ke baratdaya - barat dengan kemiringan hampir menegak. Kekar di dalam granit didapati sangat intensif dengan tiga arah set kekar yang utama, iaitu utara-baratlaut, selatan-tenggara dan timur-barat (M. Hatta et al. 2018).

## KAEDAH KAJIAN

### PETA TOPOGRAFI

Peta topografi digunakan untuk mendapatkan rupa bentuk muka bumi, jasad timbul, tumbuhan dan juga struktur binaan manusia yang terdapat di dalam kawasan kajian. Peta topografi boleh menunjukkan perubahan bentuk atau ketinggian yang terdapat pada kawasan kajian. Berdasarkan peta topografi, perubahan ketinggian akan membentuk struktur tertentu yang ada di dalam kawasan kajian dan ia berguna untuk membuat tafsiran awal geologi kawasan kajian. Peta topografi dengan sela kontur 1.0 m dalam format digital digunakan sebagai peta dasar bagi menentukan kedudukan dan lokasi cerapan. Setiap lokasi cerapan mempunyai hubungan dengan aliran air di dalam kawasan kajian berdasarkan topografi.

Inventori cerun disediakan dengan mengelaskan poligon kawasan cerun kepada kelas yang mempunyai ciri cerun yang lebih kurang sama, menunjukkan arah cerun dan kecuraman yang tekal. Dalam hal ini, poligon cerun dibatasi oleh arah aliran cerun berdasarkan muka bumi, arah cerun serta kecenderungan cerun. Perisian ArcGIS digunakan bagi tujuan menganalisis peta topografi bagi tujuan pengkelasan cerun secara sistematik.



RAJAH 1. Lokasi kajian di Empangan Sultan Mahmud, Tasik Kenyir, Kuala Berang yang terbahagi kepada tapak kajian 1, tapak kajian 2 dan tapak kajian 3

Data topografi digital dianalisis untuk mengenal pasti cerun dengan sudut minimum 15 darjah dan berketinggian 3 meter. Tujuan inventori cerun dilakukan adalah untuk menyenaraikan cerun yang ada di dalam kawasan kajian berdasarkan kepada aspek seperti pola

arah cerun dan kecerunan. Sesuatu cerun disempadani oleh arah aliran cerun berdasarkan bentuk rupa bumi, arah cerun serta kecerunan cerun. Perisian ArcGIS digunakan untuk memproses data topografi untuk menghasilkan peta cerun yang bertujuan untuk membina sempadan cerun.

PEMETAAN FAKTOR PENILAIAN BAHAYA TANAH  
RUNTUH (LHEF)

Faktor Penilaian Bahaya Tanah Runtuh (LHEF) mempertimbangkan 6 parameter utama dan dua faktor pemacu dengan mencadangkan nilai skor maksimum setiap skor tersebut (Anbalagan, Chakraborty & Kohli 2008). Enam parameter yang digunakan adalah litologi, struktur geologi, morfometri cerun, penurunan relatif, tutupan tanah, tahap luluhawa dan keadaan hidrogeologi. Parameter pembetulan faktor luar adalah sismik dan kadar taburan hujan. Setiap parameter ini mempunyai nilai skor yang tersendiri iaitu nilai maksimum bagi litologi bernilai 2, struktur bernilai 2, morfometri cerun bernilai 2, penurunan relatif bernilai 1, tutupan tanah bernilai 1 dan kondisi hidrogeologi bernilai 1. Jumlah penilaian maksimum LHEF ini adalah bernilai 10. Manakala parameter pembetulan faktor luaran iaitu seismik dan kadar taburan hujan ditambah secara berasingan yang mana bernilai 1.0.

*Litologi*

Litologi adalah faktor penting yang mengawal kestabilan cerun dan diberikan penilaian LHEF maksimum iaitu 2. Litologi dibahagikan kepada tiga kumpulan iaitu kumpulan pertama adalah yang terdiri daripada basalt, kuarzit, batu kapur dan dolomit, granit, gabro, dolerit, granit, gneis dan metavulkanik yang bernilai dengan julat nilai skor antara 0.2 hingga 0.4. Sementara kumpulan kedua dikelaskan kepada dua kategori iaitu kategori batuan sedimen didominasi batuan pasir berserta kehadiran sedikit batu lempung dan batuan gneiss yang bernilai skor 1.0 dan kategori batuan sedimen tidak disimen baik (didominasi oleh batu pasir) berserta dengan kehadiran sedikit interkalasi lempung atau lapisan syal bernilai skor 1.3. Untuk kumpulan ketiga, terdapat lima kategori iaitu kategori batuan gneis berfoliasi baik bernilai skor 1.0 dan kategori batuan syal, sabak, filit dan batuan lempungan yang lain seperti batu lodak, batu lumpur dan batu lempung bernilai skor 1.2. Sementara kategori ketiga adalah batuan syis yang bernilai skor 1.4. Manakala syal dengan lapisan lempung (batu lodak dan batu lumpur) dalam kategori keempat yang bernilai skor 1.8 dan kategori kelima adalah batuan syal terluluhawa dan batuan lempungan, filit dan batu syis yang bernilai 2.0.

Parameter luluhawa dijadikan sebagai parameter dalam kaedah ini. Penilaian untuk parameter ini dibahagikan kepada tiga kumpulan. Nilai terbesar

dalam parameter luluhawa ini adalah 4 yang mewakili batuan terurai dan hancur sepenuhnya yang merupakan kumpulan pertama. Manakala nilai yang terkecil adalah 1.0 yang mewakili batuan sedikit berubah warna merupakan kumpulan kedua. Manakala kumpulan ketiga adalah batuan yang tidak perlu kepada faktor pembetulan luluhawa.

Penilaian jenis tanah pada cerun juga diambil kira dalam kaedah pemetaan geobahaya tanah runtuh kaedah LHEF. Nilai skor terbesar adalah untuk tanah yang dipadatkan dengan nilainya adalah 8.0, manakala tanah puing yang berongga terbentuk daripada kepingan batu yang dipadatkan adalah bernilai 1.2 merupakan skor paling rendah.

*Struktur*

Kestabilan cerun batuan bergantung kepada hubungan antara orientasi cerun dan sifat ketakselajaran utama. Kaedah ini mengambil kira perkara seperti berikut iaitu (i) keselarian antara cerun dan ketakselajaran, (ii) hubungan antara kecenderungan cerun dan kemiringan atau junaman ketakselajaran dan (iii) kemiringan ketakselajaran/junaman garisan baji.

*Morfometri cerun*

Penilaian terhadap morfologi cerun dinilai berasaskan kepada sudut cerun. Sudut cerun dibahagikan kepada enam kategori utama iaitu sudut cerun dengan nilai lebih  $65^\circ$ ,  $46^\circ - 65^\circ$ ,  $36^\circ - 45^\circ$ ,  $26^\circ - 35^\circ$ ,  $16^\circ - 25^\circ$  dan kurang dari  $15^\circ$ . Julat nilai skor untuk parameter ini adalah di antara 0.5 hingga 2.0.

*Penurunan relatif*

Penurunan relatif adalah merupakan jarak cerun dari permatang. Parameter ini dikategorikan kepada lima bahagian iaitu jarak cerun yang kurang dari 50 m, 50 - 100 m, 100 - 200 m, 200 - 300 m dan lebih dari 300 m. Julat nilai skor bagi parameter ini adalah 0.3 hingga 1.0.

*Guna Tanah dan Tutupan*

Skala penilaian penggunaan tanah dan jenis tutupan tanah pada permukaan cerun dilakukan dengan melihat kepada keadaan cerun. Nilai terbesar parameter ini adalah 2.00 iaitu menggambarkan kawasan yang tandus. Parameter ini adalah bagi tujuan penilaian terhadap tumbuhan yang menutupi permukaan cerun.

### *Keadaan Hidrologi*

Terdapat lima parameter yang diambil kira dalam penilaian ini, iaitu keadaan pada permukaan cerun tersebut sama ada ia berada di dalam keadaan kering, lembap, basah, menitis dan mengalir. Skor penilaian yang paling besar adalah 1.0 merujuk kepada cerun yang mempunyai air yang mengalir.

### *Pembetulan untuk Faktor Luaran*

Faktor luaran adalah merupakan faktor pemacu yang melibatkan dua parameter iaitu seismik dan taburan hujan. Nilai faktor luaran yang paling tinggi adalah 0.5 dan yang paling rendah adalah 0.2. Zon seismik yang diambil kira dalam pembetulan untuk faktor luaran adalah zon seismik II hingga zon seismik V. Manakala kadar taburan hujan pula adalah dari 50 cm hingga 150 cm.

#### SKEMA PENAKSIRAN FAKTOR PENILAIAN BAHAYA TANAH RUNTUH (LHEF)

Terdapat lima peringkat tahap bahaya tanah runtuh (LHEF) yang dicadangkan oleh Anbalagan dan Singh (1996). Setiap peringkat mempunyai skor tertentu dan jumlah keseluruhan skor adalah 11 yang merupakan nilai bahaya paling tinggi.

### *Pengiraan Jumlah Anggaran Bahaya (TEHD)*

Pemetaan geobahaya kaedah Faktor Penilaian Geobahaya Tanah Runtu (LHEF) telah digunakan

dalam pemetaan tanah runtuh dalam skala meso di India (Anbalagan, Chakraborty & Kohli 2008). Dalam skema penilaian LHEF, semua faktor penyebab diambil kira untuk mendapatkan skor penilaian bagi menghasilkan zon geobahaya tanah runtuh (LHZ). Antara faktor tersebut termasuklah litologi, struktur, morfometri cerun, 'relative relief', guna tanah dan tutupan tanah, keadaan hidrogeologi, serta parameter pembetulan. Jumlah skor bagi penilaian LHEF akan digunakan untuk mengira Jumlah Anggaran Geobahaya (TEHD) bagi setiap 'facet' dan nilai TEHD akan dijumlahkan kepada beberapa bahagian (Anbalagan, Chakraborty & Kohli 2008; Desai et al. 2015; Ramesh et al. 2017). Pengiraan jumlah anggaran skor bagi kaedah ini menunjukkan kebarangkalian ketidakstabilan untuk setiap aspek. TEHD dan aspek individu telah dihitung dengan menambah penilaian faktor penyebab individu yang diperoleh daripada skema penilaian faktor penilaian bahaya tanah runtuh. Bergantung kepada nilai yang diperoleh daripada jumlah anggaran bahaya, setiap aspek dikelaskan ke dalam klasifikasi bahaya masing-masing.

### *Peta Bahaya Tanah Runtu*

Berdasarkan pengagihan nilai TEHD setiap poligon cerun, peta zon bahaya boleh disediakan dan dikelaskan kepada lima zon. Jadual 2 merupakan penentuan tahap bahaya tanah runtuh di dalam kawasan kajian. Selepas dijalankan penilaian dan pengiraan skor, pengezonan yang telah dilakukan kemudian diplotkan pada peta. Skor yang melebihi nilai 8 menggambarkan keadaan cerun yang sangat bahaya. Pengiraan nilai skor terhadap sesuatu cerun akan menggambarkan keadaan cerun tersebut.

JADUAL 1. Penilaian maksimum setiap paramater atau faktor penyumbang kejadian tanah runtuh

| Faktor penyumbang                   | Penilaian (maksimum) |
|-------------------------------------|----------------------|
| Litologi                            | 2.0                  |
| Struktur                            | 2.0                  |
| Morfologi cerun                     | 2.0                  |
| Penurunan relative                  | 1.0                  |
| Guan tanah / tutupan tanah          | 2.0                  |
| Kondisi hidrogeologi                | 1.0                  |
| Pembetulan disebabkan factor luaran | 1.0                  |
| Jumlah                              | 11.0                 |

Bagi zon geobahaya I (sangat rendah) dan geobahaya II (rendah) adalah sangat sesuai untuk pembangunan kerana tiada tanda-tanda kegagalan cerun dengan cerun yang agak landai. Zon geobahaya III (sederhana) pula dikategorikan secara relatif selamat untuk pembangunan. Manakala zon geobahaya IV (Tinggi) dan geobahaya V (sangat tinggi) sekiranya ingin menjalankan pembangunan perlu dijalankan langkah-langkah pengukuhan cerun yang sesuai. Bagi tujuan pengiraan jumlah anggaran bahaya adalah mengikut pengiraan seperti berikut:

$$\text{Jumlah anggaran bahaya (TEHD)} = a + b + c + d + e + f + g + h$$

dengan a=litologi, b=struktur, c=morfometri cerun, d=penurunan relatif, e=tutupan tanah, f=keadaan hidrogeologi, g=seismik dan h=kadar taburan hujan. Jadual 2 adalah merujuk kepada tahap geobahaya sesuatu cerun dengan mengambil kira skor atau jumlah anggaran bahaya (TEHD).




## HASIL DAN PERBINCANGAN

Pengiraan jumlah anggaran skor bagi kaedah ini boleh menunjukkan kebarangkalian ketidakstabilan untuk setiap aspek. TEHD dan aspek individu telah dihitung dengan menambah penilaian faktor penyebab individu yang diperoleh daripada skema penilaian faktor penilaian Bahaya tanah runtuh. Kajian oleh Desai et al. (2015) menunjukkan bahawa kawasan geobahaya sangat rendah (Zon I) dan geobahaya rendah (Zon II) adalah kawasan yang sesuai untuk aktiviti pembangunan kerana tiada tanda-tanda kegagalan cerun dan cerun yang agak landai. Zon bahaya III pula dikategorikan secara relatif selamat untuk pembangunan. Manakala zon bahaya IV dan V sekiranya ingin menjalankan pembangunan perlu dijalankan langkah pengukuhan cerun yang sesuai. Kawasan kajian dibahagikan kepada 3 tapak kajian iaitu Tapak Kajian 1, 2 dan 3. Hasil daripada pemeriksaan yang dijalankan ke atas setiap cerun di tapak kajian telah diringkaskan seperti di dalam Jadual 3. Hasil daripada kajian yang dilakukan didapati hanya tiga tahap geobahaya yang diperoleh bagi kesemua tapak kajian, iaitu zon geobahaya rendah, sederhana dan tinggi seperti di tunjukkan dalam Jadual 3.

JADUAL 2. Pengezonan Bahaya Tanah Runtuh (LHEF) berdasarkan Jumlah Anggaran Bahaya (TEHD)

| Zon bahaya | Julat pembetulan nilai TEHD | Huraian zon                |
|------------|-----------------------------|----------------------------|
| I          | TEHD <3.5                   | Bahaya sangat rendah (PRS) |
| II         | 3.5 ≤ TEHD <5.0             | Bahaya rendah (LH)         |
| III        | 5.0 ≤ TEHD ≤ 6.5            | Bahaya sederhana (MH)      |
| IV         | 6.5 ≤ TEHD ≤ 8.0            | Bahaya tinggi (HH)         |
| V          | TEHD >8.0                   | Bahaya sangat tinggi (VHH) |

JADUAL 3. Ringkasan penilaian LHEF bagi Tapak Kajian 1, 2 dan 3

| Jumlah Cerun Tapak kajian 1 | Jumlah Cerun Tapak Kajian 2 | Jumlah cerun Tapak Kajian 3 | Penilaian                         | Warna   |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|
| 2                           | 39                          | 31                          | II<br>(Geobahaya Rendah (LH))     |  |
| 108                         | 223                         | 368                         | III<br>(Geobahaya Sederhana (MH)) |  |
| 24                          | 39                          | 24                          | IV<br>(Geobahaya Tinggi (HH))     |  |

## TAPAK KAJIAN 1

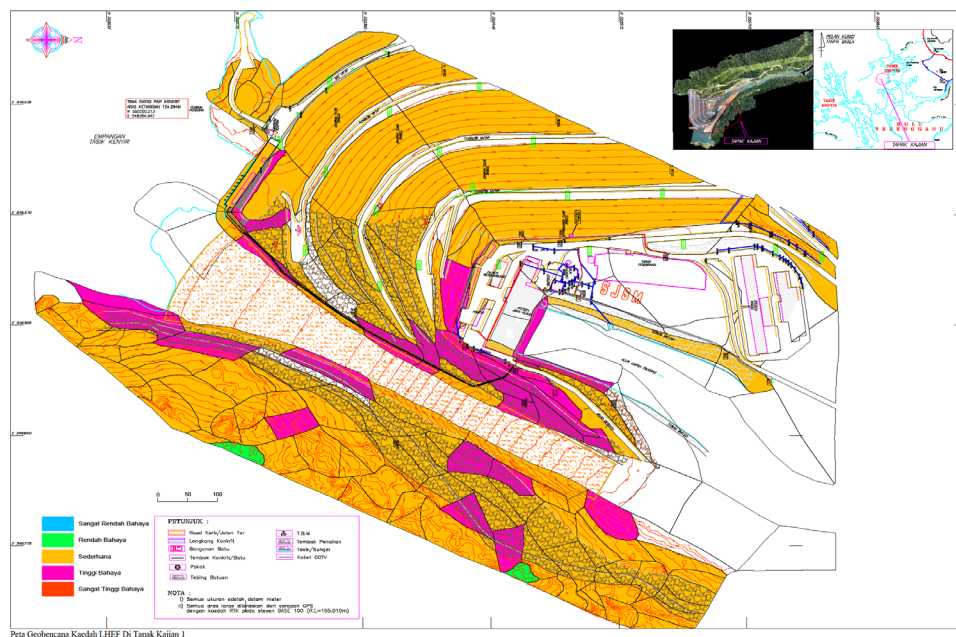
Kawasan Tapak Kajian 1 terdiri daripada dua persekitaran yang berbeza, iaitu bahagian timur adalah hutan tebal manakala bahagian barat adalah kawasan empangan. Kebanyakan cerun di kawasan timur mempunyai sudut kemiringan lebih besar daripada  $30^\circ$  dan dilitupi oleh tumbuh-tumbuhan yang tebal. Cerun di kawasan barat pula mempunyai ketinggian tertinggi kawasan ini adalah 304 meter dan ketinggian terendah adalah 10 meter pada aras laut. Tapak kajian ini kebanyakannya terdiri daripada cerun batuan yang mempunyai kemiringan yang curam mencecah  $78^\circ$ . Terdapat kawasan yang landai iaitu dengan kecuraman kira-kira  $0-5^\circ$  terletak di sekitar bangunan stesen janakuasa. Bangunan seperti pejabat pengurusan, kantin dan bangunan teknikal terletak di atas tanah rata. Terdapat juga longkang yang terletak di sepanjang jalan di kawasan itu. Cerun yang terletak pada ketinggian yang lebih tinggi mempunyai sudut dalam julat  $25^\circ$  hingga  $35^\circ$ . Ia adalah cerun tambakan batu yang menahan tekanan air dari empangan. Cerun tambakan batu dibina dengan empat teres. Setiap teres mempunyai jalan masuk sendiri. Cerun dengan sudut lebih besar daripada  $35^\circ$  ialah cerun potong batuan yang terdedah disebabkan oleh letupan. Sebahagian cerun ini basah kerana terdapat air permukaan yang mengalir melalui kekar dan retakan yang terdedah pada permukaan batu.

Kewujudan air yang mengalir pada kekar dan retakan berupaya untuk melemahkan struktur batuan tersebut.

Kawasan yang dizonkan dengan geobahaya rendah adalah di kawasan rata iaitu di kawasan stesen janakuasa. Nilai anggaran pada cerun yang dikategorikan sebagai geobahaya rendah adalah dalam julat 4.3 hingga 4.95. Berdasarkan peta geobahaya dalam Rajah 2 dan Jadual 3, terdapat 35 cerun (hijau) dengan geobahaya rendah. Cerun di zon ini kebiasaannya landai dan tidak curam serta tiada hakisan lampau. Kawasan ini masih dilitupi dengan tumbuhan dan sudut cerun adalah landai iaitu kurang daripada  $27^\circ$ . Bagi cerun batuan pula tiada rekahan atau retakan yang besar serta tiada air liang pada permukaan cerun.

Kawasan zon geobahaya sederhana adalah kawasan yang stabil dan tiada hakisan ketara. Cerun yang dizonkan dengan geobahaya sederhana mempunyai julat anggaran bahaya 5.15 hingga 6.4. Sebanyak 123 cerun dengan zon geobahaya sederhana yang ditanda dengan warna oren. Cerun di zon ini mempunyai kemiringan sederhana ke sederhana curam dan tiada hakisan lampau. Namun, pemantauan berkala serta penyelenggaraan cerun perlu dijalankan di kawasan ini.

Manakala kawasan zon geobahaya tinggi adalah kawasan yang mempunyai resapan air serta kemiringan cerun yang melebihi  $45^\circ$ . Sebanyak 28 cerun dizonkan



RAJAH 2. Hasil Pemetaan Geobahaya Faktor Penilaian Bahaya Tanah Runtuh (LHEF) di tapak kajian 1

dengan geobahaya tinggi iaitu dalam warna merah jambu. Cerun di kawasan ini terdedah kepada kegagalan oleh kerana kemiringan cerun yang sederhana ke curam. Terdapat hakisan yang ketara berlaku. Kerja baik pulih dan penyelenggaraan cerun adalah perlu di kawasan geobahaya tinggi disebabkan ketakstabilan cerun di kawasan ini. Anggaran julat bahaya untuk zon geobahaya tinggi adalah 6.5 hingga 7.15

TAPAK KAJIAN 2

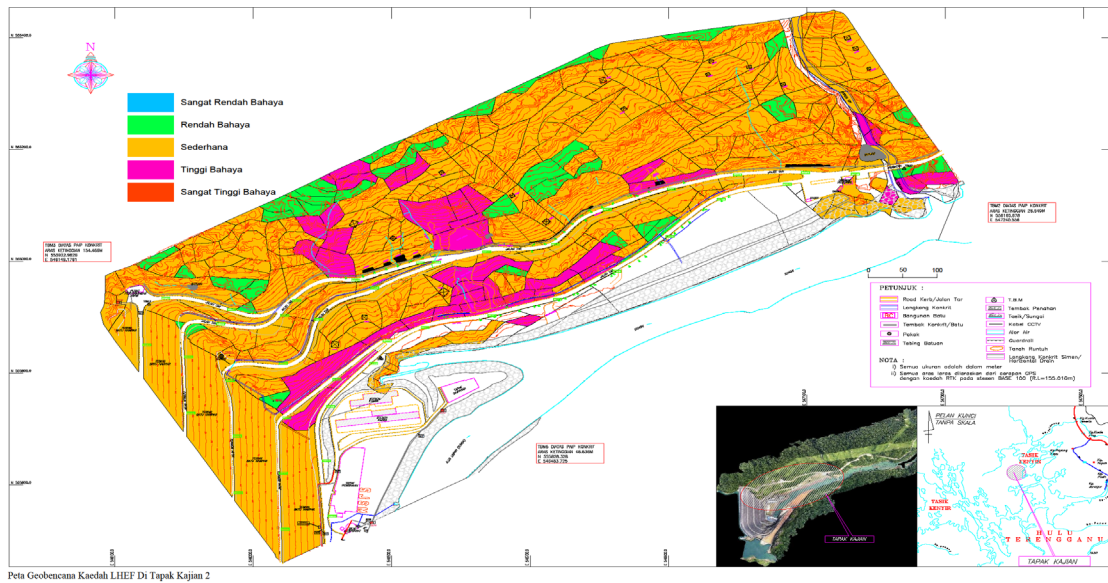
Tapak kajian 2 bermula dari pos pengawal sehingga kawasan cerun batu. Terdapat empat jalan yang terletak di kawasan tersebut dengan jalan utama mempunyai laluan dari pos pengawal ke pejabat, manakala jalan lain adalah untuk laluan ke arah empangan. Terdapat beberapa cerun tambakan batuan yang terletak di kiri jalan utama. Secara keseluruhannya, terdapat kira-kira 4 kejadian tanah runtuh yang boleh diperhatikan di tapak kajian 2. Retakan ketegangan boleh didapati di jalan menuju ke teres 2 pada beberapa tempat.

Hasil daripada pemetaan didapati kawasan kajian 2 ini hanya mempunyai 3 tahap geobahaya dan tahap sangat tinggi tiada di dalam kawasan kajian. Hasil daripada pemetaan ini diplotkan di dalam peta untuk menghasilkan peta geobahaya kaedah LHEF. Tahap

geobahaya sederhana adalah merupakan yang paling dominan di dalam kawasan kajian. Kebanyakan kawasan atau poligon cerun yang mempunyai tahap geobahaya yang tinggi adalah berdekatan dengan jalan raya.

Berdasarkan peta geobahaya dalam Rajah 3, terdapat 64 cerun yang ditandakan dengan warna hijau dengan geobahaya rendah. Cerun di zon ini kebiasaannya landai dan tidak curam serta tiada hakisan lampau. Di tapak kajian 2, kawasan yang dizonkan dengan geobahaya rendah adalah di kawasan pondok pengawal, jalanraya serta kawasan rata yang dilitupi dengan tumbuh-tumbuhan. Nilai julat anggaran bahaya bagi tahap geobahaya rendah ini adalah 3.9 hingga 4.95.

Sebanyak 214 cerun dengan zon geobahaya sederhana yang ditanda dengan warna oren. Cerun di zon ini mempunyai kemiringan sederhana ke sederhana curam dan tiada hakisan lampau. Kawasan zon geobahaya sederhana adalah kawasan yang stabil dan tiada hakisan ketara, manakala kawasan zon geobahaya tinggi adalah di kawasan tanah runtuh. Beberapa kejadian resapan air dan retakan tegangan boleh dilihat pada cerun yang dizonkan sebagai tahap geobahaya tinggi. Julat anggaran bahaya pada tahap geobahaya rendah ini adalah bernilai 5 hingga 6.5 bagi tapak kajian 2.



RAJAH 3. Hasil Pemetaan Geobahaya Faktor Penilaian Bahaya Tanah Runtuh (LHEF) di tapak kajian 2



Namun, pemantauan berkala serta penyelenggaraan cerun perlu dijalankan di kawasan ini. Sebanyak 566 cerun dizonkan dengan geobahaya tinggi iaitu dalam warna merah jambu. Cerun di kawasan ini terdedah kepada kegagalan oleh kerana sudut kemiringan cerun yang sederhana ke curam. Julat anggaran bahaya bagi tahap geobahaya tinggi adalah bernilai 6.5 hingga 7.4 bagi kawasan tapak kajian 2 ini. Terdapat hakisan yang ketara berlaku di kawasan ini. Beberapa cerun menunjukkan kegagalan lampau yang boleh menyebabkan kegagalan semula jika tiada kerja pembaikan dijalankan. Kehadiran resapan air serta retakan tegangan juga dijumpai di kawasan kajian. Kerja baik pulih dan penyelenggaraan cerun adalah perlu di kawasan geobahaya tinggi disebabkan ketakstabilan cerun di kawasan ini.

TAPAK KAJIAN 3

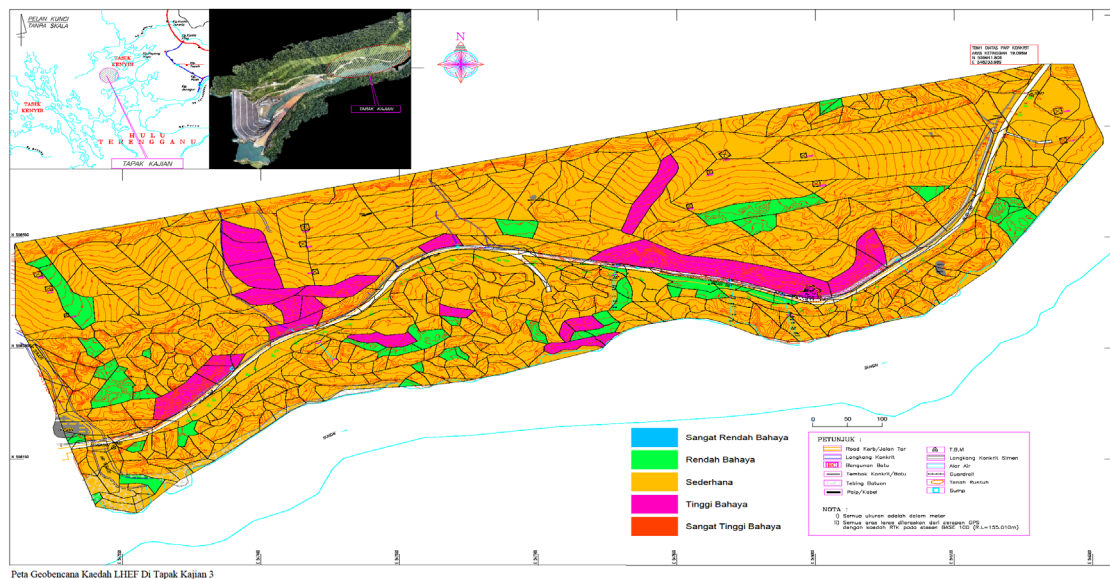
Kawasan di sebelah timur tapak kajian 3 kebanyakannya diduduki oleh cerun yang landai. Kebanyakan cerun di kawasan timur mempunyai sudut kurang daripada 30° dan dilitupi oleh tumbuh-tumbuhan tebal. Cerun di kawasan barat mempunyai sudut yang berbeza dan ketinggian yang berbeza. Terdapat juga longkang tepi jalan yang terletak di sepanjang jalan menuju ke pintu masuk Stesen Janakuasa Sultan Mahmud. Cerun yang terletak pada ketinggian yang lebih tinggi mempunyai

sudut dalam julat 25° hingga 35°. Cerun dengan sudut lebih besar daripada 35° adalah cerun semula jadi yang tidak terdedah dan masih diliputi oleh tumbuhan dan pokok.

Pemetaan geobahaya menggunakan kaedah LHEF di tapak kajian 3 melibatkan 423 poligon cerun yang merangkumi cerun tanah semula jadi dan cerun tanah kejuruteraan. Hasil daripada pemetaan yang dijalankan didapati tahap geobahaya sederhana adalah lebih dominan berbanding dengan tahap geobahaya yang lain. Jadual 3 menunjukkan ringkasan terhadap analisis mengikut kaedah LHEF. Manakala Rajah 4 adalah merupakan peta geobahaya kaedah LHEF di kawasan kajian 3.

Berdasarkan peta geobahaya dalam Rajah 4, terdapat sebanyak 69 cerun (hijau) dengan geobahaya rendah. Cerun di zon ini kebiasaannya landai dan tidak curam serta tiada hakisan lampau. Julat anggaran bahaya pada tahap geobahaya rendah ini adalah bernilai 4.45 hingga 4.9. Di tapak kajian 3, kawasan yang dizonkan dengan geobahaya rendah adalah di kawasan rata dengan hampir 90% kawasan tersebut dilitupi dengan tumbuh-tumbuhan.

Sebanyak 408 cerun dengan zon geobahaya sederhana yang ditanda dengan warna oren. Cerun di zon ini mempunyai kemiringan sederhana ke sederhana



RAJAH 4. Hasil Pemetaan Geobahaya Faktor Penilaian Bahaya Tanah Runtuh (LHEF) di tapak kajian 3

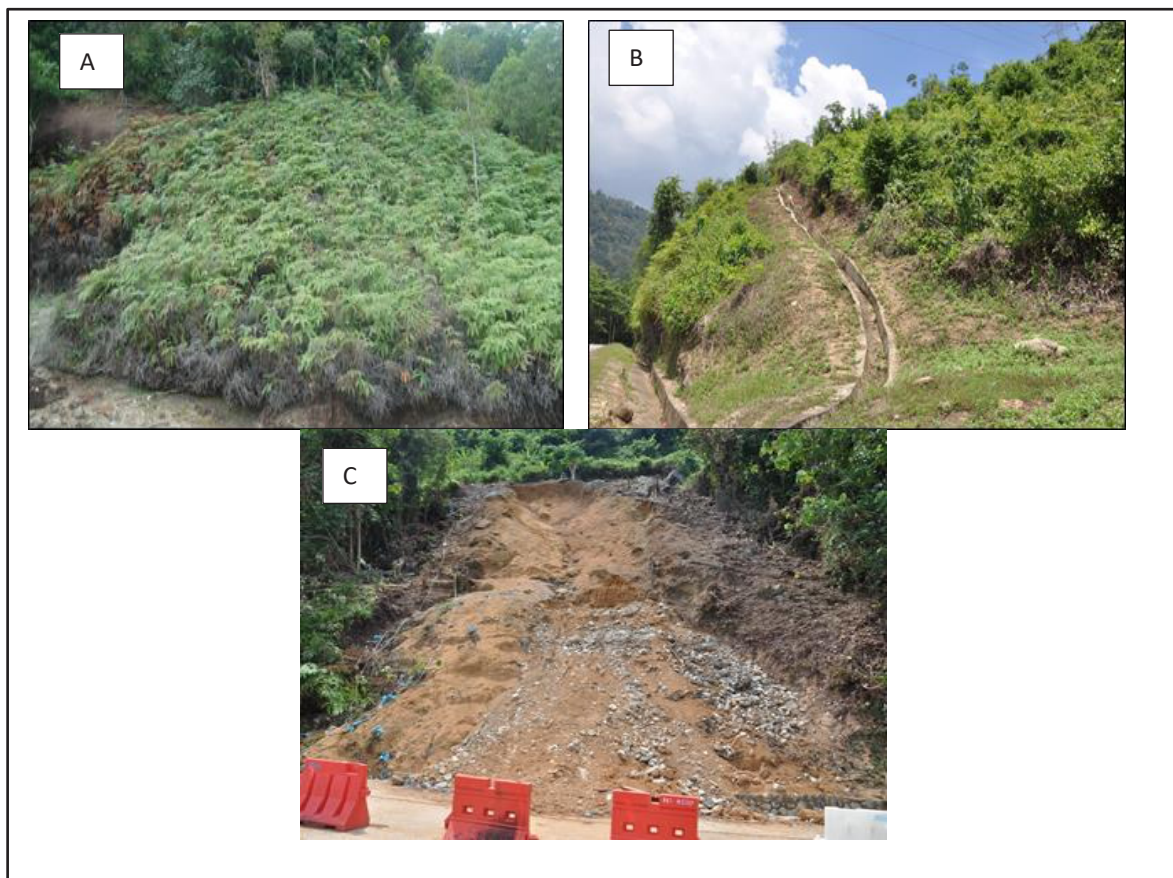
curam dan tiada hakisan lampau. Terdapat juga sedikit kesan hakisan seperti galur dan ril pada permukaan cerun tanah. Julat anggaran bahaya pada zon geobahaya sederhana ini adalah antara 5.3 hingga 6.1. Namun, pemantauan berkala serta penyelenggaraan cerun perlu dijalankan di kawasan ini. Kawasan zon geobahaya sederhana adalah kawasan yang stabil dan tiada hakisan ketara, manakala kawasan zon geobahaya tinggi adalah di kawasan tanah runtuh.

Sebanyak 34 cerun dizonkan dengan geobahaya tinggi iaitu dalam warna merah jambu. Cerun di kawasan ini terdedah kepada kegagalan oleh kerana kemiringan cerun yang sederhana ke curam. Terdapat hakisan yang ketara berlaku di kawasan ini. Beberapa cerun menunjukkan kegagalan lampau yang boleh menyebabkan kegagalan semula jika tiada kerja pembaikan dijalankan. Kehadiran resapan air serta retakan tegangan juga dijumpai di kawasan kajian. Kerja

baik pulih dan penyelenggaraan cerun adalah perlu di kawasan geobahaya tinggi disebabkan ketakstabilan cerun di kawasan ini. Jadual 3 menunjukkan ringkasan jumlah cerun yang dilakukan penilaian skor mengikut kaedah Faktor Penilaian Tanah Runtuh (LHEF). Beberapa cerun dizonkan sebagai geobahaya tinggi disebabkan kehadiran resapan air serta tutupan tanah yang kurang menyebabkan kawasan ini terdedah kepada kegagalan. Anggaran bahaya bagi tahap geobahaya tinggi adalah antara 6.5 hingga 7.6.

#### KESIMPULAN

Perkembangan penentuan skor geohazard ini adalah berasaskan kaedah penarafan berangka, bahaya tanah runtuh (LHEF), yang mana kaedah ini menggabungkan kewujudan utama faktor penyebab ketidakstabilan cerun dan mengamalkan pendekatan praktikal dan berkesan yang mudah. Terdapat sebanyak 858 cerun di keseluruhan



RAJAH 5. A – Contoh zon geobahaya rendah, B – Contoh zon geobahaya sederhana dan C – Contoh zon geobahaya tinggi di kawasan tapak kajian

kawasan kajian. Setiap cerun ini mempunyai kriteria dan sifat tersendiri. Dengan menggunakan pemetaan potensi cerun bahaya kaedah LHEF, cerun ini dapat dibahagikan kepada beberapa zon bergantung kepada skor penilaian geobahaya yang diperolehi. Peta geobahaya potensi tanah runtuh dapat dihasilkan dengan menggunakan skor penilaian geobahaya kaedah LHEF. Hasil daripada pemetaan yang telah dihasilkan, terdapat sebanyak 72 cerun yang diplotkan dalam zon geobahaya rendah yang ditandakan dengan warna hijau. Secara am, cerun yang tergolong dalam zon ini mempunyai kemiringan yang rendah dan tidak curam, selain tiada kesan runtuhan. Tiada runtuhan dijangka pernah atau akan berlaku di kawasan ini. Sebanyak 699 cerun dizonkan dalam kategori geobahaya sederhana dan poligon ditandakan dengan warna oren. Cerun dizonkan ini mempunyai kemiringan yang rendah hingga sederhana curam. Kestabilan di kawasan cerun ini adalah sederhana stabil dan memerlukan pemantauan dan penyelenggaraan cerun. Selain itu, terdapat juga cerun yang dizonkan dalam kelas zon geobahaya tinggi iaitu sebanyak 87 cerun dan geobahaya di kawasan ini adalah tinggi. Kemiringan cerun di kawasan ini sederhana hingga curam dan hadirnya unsur hakisan dan ketakstabilan seperti hakisan lembar, ril dan galur. Cerun di kawasan yang dizonkan ini memerlukan penyelenggaraan dan kerja-kerja pemulihan disebabkan kestabilannya yang rendah. Kaedah pemetaan ini adalah sesuai untuk dijadikan sebagai salah satu panduan dalam menentukan potensi tanah runtuh di sesuatu kawasan yang bercerun sama ada cerun potong kejuruteraan dan cerun semula jadi, namun bagi tujuan pengukuhan dan penstabilan cerun analisis faktor keselamatan cerun perlu dilakukan terhadap cerun yang mempunyai geobahaya tinggi dan sangat tinggi.

#### PENGHARGAAN

Tiada kata dapat diucapkan melainkan kesyukuran terhadap Ilahi terhadap semua yang terlibat dalam penulisan ini terutamanya pihak Empangan Sultan Mahmud, Program Geologi, Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Universiti Kebangsaan Malaysia serta kakitangan Geo Mag Engineering terutama Alief Iskandar.

#### RUJUKAN

- Abdul Ghani Rafek, Ong Bok Cheng & Goh Thian Lai. 2019. Pencirian geomekanik jasad batuan dan analisis kestabilan cerun di laman Granview, Saujana Puchong, Selangor, Malaysia. *Sains Malaysiana* 48(4): 757-763.
- Ainul Mardiyah Mohd Razib, Goh Thian Lai, Nur Amanina Mazlan, Muhammad Fahmi Abdul Ghani, Tuan Rusli Tuan Mohamed, Abdul Ghani Rafek, Ailie Sofiyana Serasa, Yanlong Chen & Mingwei Zhang. 2018. A systematic of rock slope stability assessment: A case study at Gunung Kandu, Gopeng, Perak, Malaysia. *Sains Malaysiana* 47(7): 1413-1421.
- Anbalagan, R. & Singh, B. 1996. Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains - A case study from Kumaun Himalaya, India. *Engineering Geology* 43: 237-246.
- Anbalagan, R., Chakraborty, D. & Kohli, A. 2008. Landslide Hazard Zonation (LHZ) mapping on meso-scale for systematic town planning in mountainous terrain. *Journal of Scientific & Industrial Research* 67: 486-497.
- Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Classification*. Chichester: Wiley. p. 251.
- Bowman, S.D. & Lund, W.R. 2016. Guidelines for evaluating landslide. *Guidelines for Investigating Geologic Hazards and Preparing Engineering-Geology Reports, with a Suggested Approach to Geologic-Hazard Ordinances in Utah*. pp. 64-65.
- Chandel, V., Brar, K. & Chauhan, Y. 2011. RS & GIS based landslide hazard zonation of mountainous terrains: A study from middle Himalayan Kullu District, Himachal Pradesh, India. *International Journal of Geomatics and Geosciences* 2(1): 121-122.
- Chau, K., Sze, Y., Fung, M., Wong, W., Fong, E. & Chan, L. 2004. Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS. *Computers & Geosciences* 30: 429-443.
- Che Aziz Ali, Shafeea Leman & Kamal Roslan Mohamed. 2004. Fasies karbonat dan diagenesis di dalam batu kapur Bukit Biwah dan Bukit Taat, Kenyir, Ulu Terengganu. *Bulletin Geological Society of Malaysia* 49: 61-65.
- Cobbing, E.J. 1992. *The Granites of the South-East Asian Tin Belt. Overseas Memoir of the British Geological Survey Issue 10*. H.M Stationery Office.
- Ghani, A.A. 2004. Chemical characteristics of some of the granitic bodies from Terengganu area, Peninsular Malaysia. *Annual Geological Conference Geological Society of Malaysia*. pp: 31-35.
- Goh Thian Lai, Wong Jia Mang, Abdul Ghani Rafek, Ailie Sofiyana Serasa, Nur Amanina Mazlan, Ainul Mardiyah Mohd Razib, Azimah Hussin, Lee Khai Ern & Tuan Rusli Tuan Mohamed. 2018. Stability assessment of Limestone Cave: Batu Caves, Selangor, Malaysia. *Sains Malaysiana* 47(1): 59-66.
- Hatta Roselee, Mohd Rozi Umor, Azman Abdul Ghani & Long Xiang Quek. 2018. Petrographic and geochemical characteristic of volcanic rocks from Tasik Kenyir and Kampung Awah, East Malaya block, Peninsular Malaysia. *AIP Conference Proceedings* 1940(1): 020033.

Mohamad Anuri Ghazali, Mohd Rozi Umor, Abdul Ghani Rafek. 2022. Penilaian cerun bagi meramalkan potensi tanah runtuh menggunakan kaedah sistem penilaian cerun Model-B di Empangan Sultan Mahmud, Tasik Kenyir, Kuala Berang, Terengganu, Semenanjung Malaysia. *Sains Malaysiana* 51(9): 3103-3112.

Zulfahmi, A.R. 1999. The application of landslide potential hazard zonation mapping in the Ebbw Valley, Gwent, Wales, United Kingdom. *Sains Malaysiana* 28: 69-86.

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: mohamadanuri16@gmail.com.my