

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

(Slope Assessment to Predict Landslide Potential using Model-B Slope Assessment System Method at Sultan Mahmud Dam, Kenyir Lake, Kuala Berang, Terengganu, Peninsular Malaysia)

MOHAMAD ANURI GHAZALI^{1*}, MOHD ROZI UMOR² & ABDUL GHANI MD RAFEK²

¹*Geo Mag Engineering, No 31B, Level 2, Jalan Pelabur B, 23/B, Seksyen 23, 40300 Shah Alam, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

²*Program Geologi, Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

Diserahkan: 14 Februari 2022/Diterima: 21 Jun 2022

ABSTRAK

Penilaian geobahaya cerun telah dijalankan di Empangan Sultan Mahmud, Tasik Kenyir, Kuala Berang, Terengganu menggunakan kaedah Sistem Penilaian Cerun Model-B bertujuan untuk meramalkan potensi cerun mengalami tanah runtuh dengan nilai skor geobahaya. Kajian juga bertujuan untuk menilai ketepatan terhadap jenis cerun yang berbeza di ketiga-tiga kawasan kajian. Cerun di dalam kawasan kajian ini melibatkan cerun jenis potongan batuan, cerun potongan tanah dan cerun potongan batuan bercampur tanah. Terdapat 9 parameter yang diambil kira di dalam penilaian geobahaya iaitu sudut cerun, keluasan fitur, jarak dari permatang, bentuk cerun, peratusan fitur tak tertutup, kehadiran batuan terdedah, kehadiran saluran bertangga, kehadiran saluran mendatar dan kehadiran hakisan. Penilaian dijalankan di dalam batuan granit di kawasan berbukit iaitu di tiga tapak kajian iaitu tapak kajian 1, 2 dan 3 yang merangkumi keluasan 129 hektar. Hasil kajian di tapak kajian 1 mendapati skor geobahaya cerun batuan ini dikelaskan sebagai sangat tinggi dan tinggi. Faktor utama yang mempengaruhi skor geobahaya yang sangat tinggi dan tinggi adalah disebabkan sudut kecerunan yang tinggi dan keadaan batuan yang terdedah. Hasil kajian di tapak kajian 2 mengelaskan skor geobahaya adalah tinggi sahaja. Ini disebabkan oleh kecerunan yang tinggi, bentuk cerun, kewujudan hakisan dan tumbuhan tutup bumi. Manakala, hasil kajian di tapak 3 mendapati skor geobahaya adalah sederhana. Faktor utama yang menyebabkan skor geobahaya sederhana adalah kerana sebahagian merupakan cerun semula jadi, sudut kecerunan yang rendah, litupan tumbuhan pada cerun dan kehadiran hakisan yang rendah. Kesimpulan daripada kajian ini menunjukkan kaedah Sistem Penilaian Cerun Model-B (SPCM-B) adalah bersesuaian untuk digunakan dalam memetakan skor geobahaya bagi cerun jenis tanah potongan kejuruteraan.

Kata kunci: Geobahaya; Sistem Penilaian Cerun Model –B (SPCM-B); skor geobahaya

ABSTRACT

Slope geohazard assessment were performed at Sultan Mahmud Dam, Tasik Kenyir, Kuala Berang, Terengganu using the Slope Assessment System method of Model-B. This study aims to predict slopes potentially experiencing landslides with geohazard score values. The study also aimed to evaluate the accuracy of this method on different slope types in the three study areas. The slopes in this study area involve rock cut type slopes, soil cut slopes and soil mixed rock cut slopes. There are 9 parameters taken into account in the geohazard assessment namely slope angle, feature area, distance from ridge, slope shape, percentage of uncovered features, presence of exposed rocks, presence of stair drainage, presence of horizontal drainage and presence of erosion. The assessment is generally carried out in granite rocks in hilly areas. There are three study sites named as study sites 1, 2, and 3 which cover an area of 129 hectares. The results of the study at study site 1 found that the geohazard scores of these rock slopes were classified as very high and high. The main factors influencing very high and high geohazard scores are due to high gradient angles and exposed rock conditions. The results of the study at study site 2 classifying the geohazard score were high only. This is due to high gradients,

slope shapes, the presence of erosion and ground cover vegetation. Meanwhile, the results of the study at site 3 found that the geohazard score was moderate. The main factors that cause this moderate geohazard score are because part of the slope is natural, low slope angle, vegetation cover on the slope and low presence of erosion. The conclusion from this study shows that the Slope Assessment System method of Model-B is a very suitable method to be used in mapping the geohazard score for the slope of the engineering cut soil type.

Keywords: Geohazards; geohazards rating; Slope Assessment System Model B (SAS-B)

PENDAHULUAN

Pelbagai kaedah penilaian geobahaya telah diguna pakai dan diperakui oleh negara seperti Jepun, Kanada, Amerika Syarikat dan Hong Kong. Namun begitu, kaedah penilaian geobahaya yang diguna pakai ini tidak sesuai untuk digunakan di Malaysia kerana keadaan geologi di negara terbabit berlainan dengan keadaan geologi di Malaysia. Fredlund dan Krahn (1976) telah membandingkan enam kaedah penilaian geobahaya yang diguna pakai bagi tujuan analisis kestabilan cerun. Terdapat banyak kajian berkenaan penilaian geobahaya yang telah dilakukan di Malaysia. Antaranya ialah Bujang dan Jamaludin (2005) yang telah menjalankan penafsiran cerun melibatkan skor terhadap cerun merangkumi parameter tertentu. Sementara, Anbalagan et al. (2008) menentukan potensi bahaya cerun dengan mengemukakan skor berasaskan enam parameter utama. Kamilia et al. (2017) telah membuat perbandingan nilai ketepatan terhadap peta kerentanan tanah runtuh semula jadi dengan cerun buatan manusia. Manakala Norbert et al. (2017) telah membandingkan ketepatan model tanah runtuh berasaskan data poligon cerun dan titik bagi kawasan yang cenderung untuk mengalami tanah runtuh. Jamaludin (2006) telah membandingkan keempat-empat jenis penilaian cerun yang diguna pakai di Malaysia iaitu *Slope Maintenance System (SMS)*, *Slope Priority Ranking System (SPRS)*, *Slope Information Management System (SIMS)*, *Slope Management and Risk Tracking System (SMART)*, serta *Landslide Hazard and Risk Assessment (LHRA)*. Beliau mendapati kesemuanya tidak tepat dalam menilai risiko cerun yang mempunyai batuan dasar jenis granit. Sebaliknya, sistem penilaian baru iaitu Sistem Penilaian Cerun Model-A (SAS-A) dan Sistem Penilaian Cerun Model-B (SAS-B) disyorkan untuk menilai cerun batuan dasar granit kerana keduanya akan memberikan keputusan yang lebih tepat.

Sistem penilaian cerun SAS-A menggunakan sepuluh (10) parameter yang dibentuk daripada analisis 'discriminant' manakala sistem penilaian cerun SAS-B

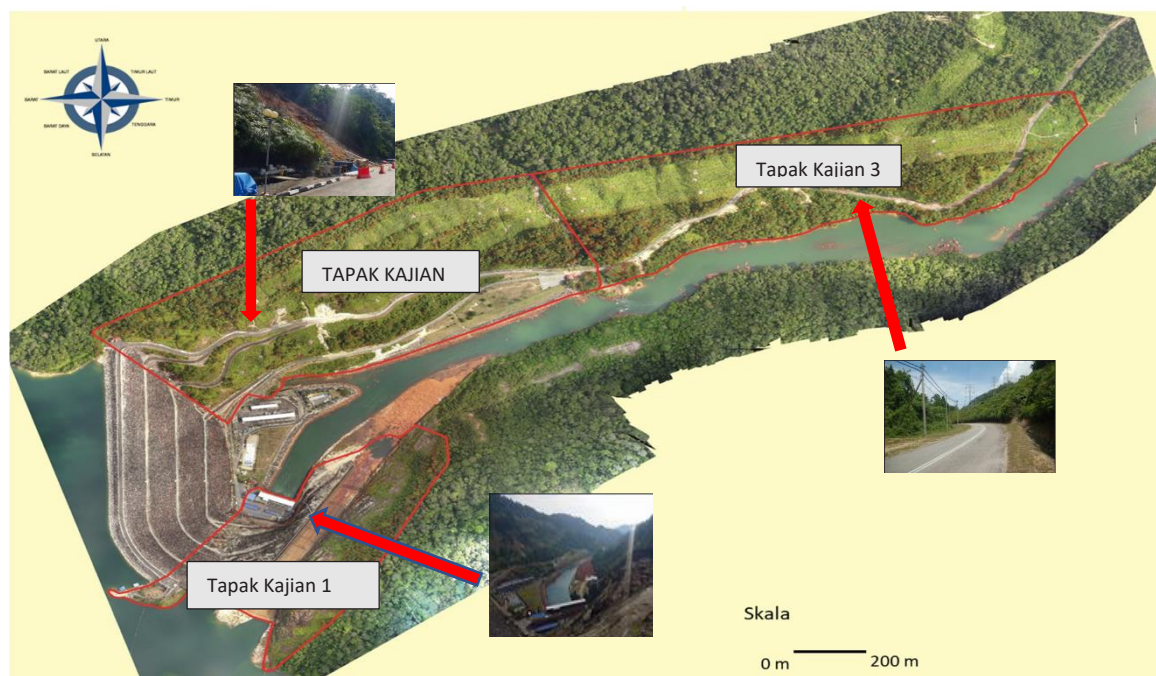
menggunakan sembilan (9) parameter yang dibentuk daripada analisis 'regression' (Jamaludin et al. 2006).

Kaedah pemetaan geobahaya menggunakan Sistem Penilaian Cerun Model-B adalah kaedah tidak langsung yang melibatkan analisis *univariate* dan *bivariate*. Analisis *univariate* dilakukan untuk mengenal pasti parameter tunggal yang menyumbang kepada ketidakstabilan cerun sebagai contoh plotan kegagalan cerun berbanding ketinggian cerun. Manakala, analisis *bivariate* pula melibatkan dua parameter seperti sudut cerun berbanding ketinggian cerun terhadap kegagalan cerun. Analisis *multivariate* pula merupakan analisis yang lebih rumit melibatkan beberapa faktor digabungkan dengan kaedah berangka untuk mengenal pasti kawasan berbahaya. Kaedah ini sangat berguna kerana tahap bahaya dapat ditentukan berasaskan kepada nilai skor sesuatu cerun.

Tiga tapak kajian telah dipilih untuk menjalani penilaian geobahaya menggunakan Sistem Penilaian Cerun Model-B (SPCM-B) di Empangan Sultan Mahmud, Tasik Kenyir (Rajah 1). Ketiga-tiganya dipilih kerana mempunyai cerun potongan dengan bahan yang berbeza, iaitu melibatkan cerun jenis potongan batuan, cerun potongan tanah dan cerun potongan batuan bercampur tanah. Pemetaan di kawasan ini bertujuan untuk memetakan kawasan yang berpotensi untuk mengalami kejadian tanah runtuh dengan memberikan nilai skor terhadap setiap cerun dengan formula tertentu dan menguji kesesuaian SPCM-B untuk meramalkan potensi tanah runtuh di kawasan kajian.

Geologi rantau di sekitar kawasan Empangan Kenyir meliputi keseluruhan kawasan tadahan Sungai Terengganu, terdiri daripada batuan sedimen (terutamanya batu pasir dan syal) dan batuan metamorf (terutamanya kuarzit dan filit) yang direjah oleh jasad granit.

Paksi lipatan bagi batuan sedimen didapati pada arah barat laut ke tenggara. Pelbagai terobosan dolerit menerobos sedimen dan granit pada arah jurus antara timurlaut hingga timur. Hanya sesar kecil yang ditemui



RAJAH 1. Kedudukan tiga tapak kajian di Empangan Sultan Mahmud, Tasik Kenyir yang mempunyai jenis cerun yang berbeza

di dalam batuan sedimen di kawasan tadahan. Walau bagaimanapun, Empangan Kenyir dan lapan empangan pelana semuanya terletak di kawasan batuan granit. Secara tempatan di tapak empangan utama, batuan dasar di bawahnya terdiri daripada granit biotit berbutir kasar dengan banyak rejaman dolerit.

Korok dolerit ini mempunyai pelbagai kelebaran berjulat dari 5 cm hingga 2 m, dengan arah jurus dari timurlaut ke timur dengan kemiringan menegak atau hampir menegak. Korok dolerit didapati mencapai kepanjangan antara 30 hingga 100 m dan kemudian hilang, atau menunjukkan ciri-ciri en-enchelon. Kekar pada granit agak hebat. Pada empangan utama, terdapat tiga set kekar utama, iaitu dua set kemiringan menegak atau hampir menegak pada arah jurus antara utara hingga timurlaut dan selatan hingga tenggara, sementara satu set kekar kemiringan agak mendatar. Bukaan pada kekar berjulat antara 0.6 - 1.6 m. Kekar tersebut mengalami luluhawa dan diisi oleh tanah liat apabila tersingkap dipermukaan bumi. Walau bagaimanapun, pada kedudukan yang lebih dalam didapati kekar lebih bersih dan lebih ketat.

Berdasarkan Ghani (2004), litologi di Tasik Kenyir dan kawasan sekitarnya terdiri daripada pelbagai jenis batuan yang berbeza usia, iaitu bermula dari Paleozoik

Akhir hingga Mesozoik Akhir. Unit batuan sedimen yang paling muda berumur Jura hingga Kapur mewakili bahagian daratan. Unit ini juga membentuk batuan di Gunung Gagau yang terletak di pertemuan tiga negeri iaitu Terengganu, Pahang dan Kelantan. Batuan igneus jenis rejaman telah dipotong dengan siri korok dolerit berusia Mesozoik hingga Senozoik.

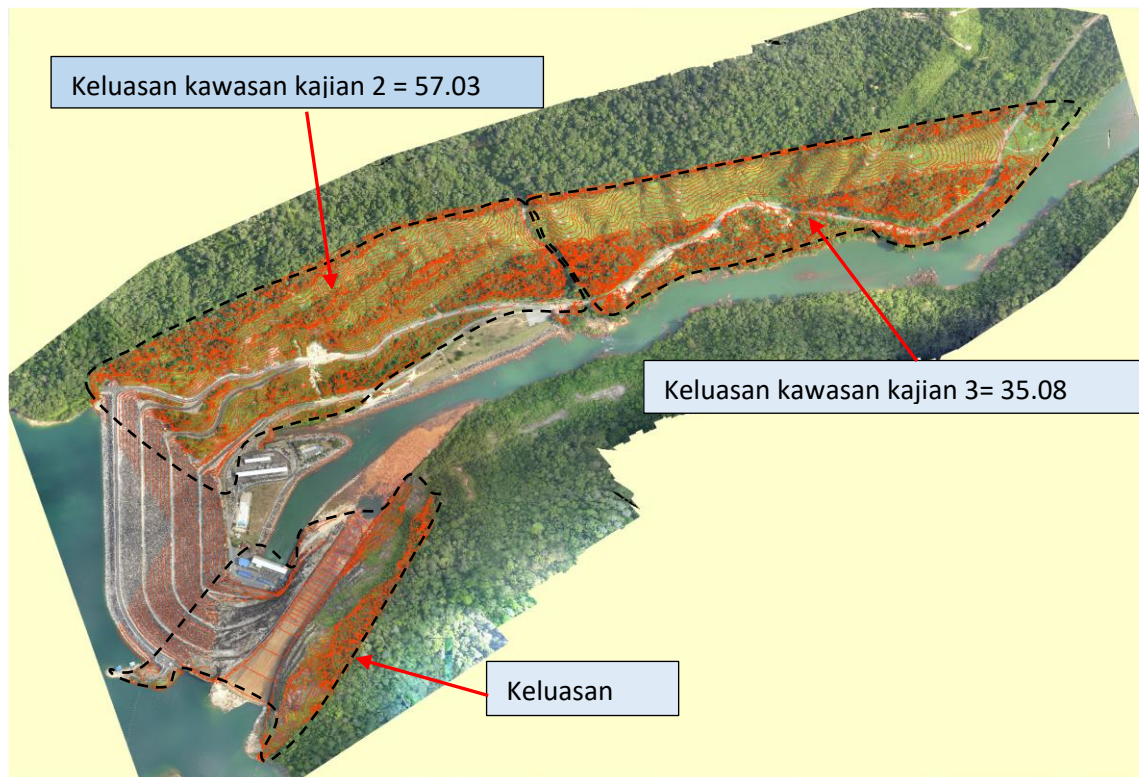
KAEDAH KAJIAN

PETA DASAR

Peta topografi digunakan untuk mendapatkan rupa bentuk muka bumi, jasad timbul dan struktur binaan manusia yang terdapat di dalam kawasan kajian. Peta topografi boleh menunjukkan perubahan bentuk muka bumi berdasarkan ketinggian dan kontur yang terdapat pada kawasan kajian. Perubahan bentuk muka bumi yang melibatkan perbezaan ketinggian amat berguna untuk membuat tafsiran awal tentang keadaan geologi di dalam kawasan kajian. Peta topografi dengan sela kontur 1.0 m dalam format digital digunakan sebagai peta dasar bagi menentukan kedudukan lokasi cerapan. Ia juga digunakan untuk melihat kecerunan serta keadaan muka cerun yang mempunyai hubungan dengan arah aliran air di kawasan kajian. Tapak kajian 1 yang mempunyai keluasan 37.02

hektar merupakan kawasan utama empangan ini yang mempunyai topografi curam, sementara tapak kajian 2 yang merangkumi keluasan kawasan seluas 57.03 hektar

merupakan cerun curam jalan raya di dalam empangan dan tapak kajian 3 pula merupakan cerun semula jadi dan buatan di sepanjang jalan memasuki empangan dengan keluasan 35.08 hektar (Rajah 2).



RAJAH 2. Peta tindanan garis kontur dengan fotograf udara di Empangan Sultan Mahmud, Tasik Kenyir, Kuala Berang

INVENTORI CERUN

Tujuan inventori cerun dilakukan adalah untuk menyenaraikan cerun yang terdapat di dalam kawasan kajian kepada petak poligon cerun tertentu. Sempadan poligon sesuatu cerun dibuat berdasarkan arah aliran cerun, arah cerun serta kecerunan cerun. Cerun yang mempunyai ciri cerun yang lebih kurang sama akan dikelaskan di dalam poligon yang sama. Data topografi secara digital dianalisis untuk mengenal dan menentukan cerun yang mempunyai sudut kemiringan minimum 15 darjah dengan ketinggian melebihi 3.0 meter. Perisian ArcGIS digunakan untuk memproses data topografi untuk menghasilkan peta inventori cerun.

SISTEM PENILAIAN CERUN MODEL B (SAS-B)

Sistem penilaian cerun SAS-B merupakan model

yang diperkenalkan oleh Jamaludin et al. (2006) mempertimbangkan sembilan parameter iaitu sudut kecerunan (angle), keluasan fitur (feat area), jarak dari permatang (dst_ridg), bentuk cerun (slp_shp), peratusan fitur tidak tertutup (uncover), kehadiran saliran bertangga (bench_d), kehadiran saliran mendatar (hori_d) dan kehadiran hakisan (erosion). Kesemua parameter ini akan dihitung dengan pemalar regresi tertentu mengikut persamaan berikut, iaitu; (Y)

$$Y = 0.111 (\text{angle}) + 0.138 (\text{feat. area}) + 0.076 (\text{dst_ridg}) - 0.048 (\text{slp_shp}) + 0.097 (\text{uncover}) + 0.102 (\text{rexp}) + 0.171 (\text{bench_d}) + 0.086 (\text{hori_d}) + 0.172 (\text{erosion}) + 0.159 (\text{pemalar})$$

Semua data cerun dalam bentuk pemboleh ubah berterusan akan berubah menjadi pelbagai skor. Nilai skor ini akan dihitung dengan pekali tertentu dan digunakan dalam analisis statistik mengikut persamaan regresi untuk pengiraan skor ketidakstabilan (skor diskriminasi dan regresi individu). Skala ketidakstabilan (Y) untuk cerun yang gagal dan stabil akan dihitung dengan

menggunakan persamaan di atas. Nilai Y adalah tinggi sekiranya skor ketidakstabilan menunjukkan cerun terdiri daripada fitur yang dikelaskan sebagai cerun yang tidak stabil. Cerun akan dikelaskan sebagai stabil jika nilai (Y) kurang daripada 1.620. Jadual 1 menunjukkan penilaian geobahaya yang direka untuk Model B mengikut Jamaludin et al. (2006).

JADUAL 1. Penilaian bahaya yang direka untuk Model B

Skor ketidakstabilan	Penilaian bahaya
2.137 ke 2.653	Sangat tinggi
1.620 ke 2.137	Tinggi
1.005 ke 1.620	Rendah
0.389 ke 1.005	Sangat rendah

Penentuan skor bagi setiap parameter di dalam penentuan nilai skala ketidakstabilan adalah cukup penting dalam sistem penilaian cerun SAS-B. Skor setiap parameter dilakukan berdasarkan keadaan cerun seperti ditunjukkan dalam Jadual 2. Skala ketidakstabilan atau penilaian geobahaya yang menunjukkan pengelasan sangat rendah dan rendah dikategorikan sebagai cerun yang stabil dan memerlukan penyelenggaraan lereng yang biasa. Bagi penilaian geobahaya yang dikelaskan sebagai tinggi, cerun dikategorikan sebagai sederhana stabil, menunjukkan keperluan penyelenggaraan lereng yang biasa tetapi memerlukan pemeriksaan berkala. Bagi penilaian geobahaya yang dikelaskan sebagai sangat tinggi, cerun dikategorikan sebagai tidak stabil dan memerlukan pemantauan secara instrumentasi, pemeriksaan rapi dan penyelenggaraan cerun yang terperinci.

HASIL DAN PERBINCANGAN

HASIL TAPAK KAJIAN 1

Hasil kerja lapangan menunjukkan terdapat 181 buah cerun yang mewakili cerun di dalam tapak kajian 1. Secara keseluruhan, didapati tapak kajian 1 terdiri daripada granit sebagai batuan dasar. Daripada 181 cerun yang dikenal pasti, didapati sejumlah 55 cerun adalah cerun potongan kejuruteraan yang hampir menegak, 63 cerun adalah cerun tambakan dan selebihnya sebanyak

63 cerun adalah cerun semula jadi yang terdiri daripada granit atau tanah baki granit. Oleh itu, tapak kajian 1 didominasi oleh cerun yang telah dilakukan kerja kejuruteraan sama ada sebagai cerun potongan atau cerun tambakan.

Berdasarkan data lapangan dan inventori berdasarkan topografi, semua cerun ini dimodelkan kepada poligon sempadan cerun tertentu menggunakan perisian ARGis. Daripada 181 buah cerun, didapati pemodelan menerbitkan 120 poligon cerun berdasarkan parameter di dalam penilaian geobahaya. Hasil penilaian geobahaya mendapati hanya 2 poligon cerun yang mempunyai penilaian cerun sangat tidak bahaya (sangat rendah) diikuti dengan 48 poligon cerun dengan penilaian tidak bahaya (rendah). Sejumlah 48 poligon cerun dikategorikan sebagai kawasan yang bahaya (tinggi) dan 22 poligon cerun mempunyai penilaian cerun yang sangat bahaya (sangat tinggi) (Rajah 3).

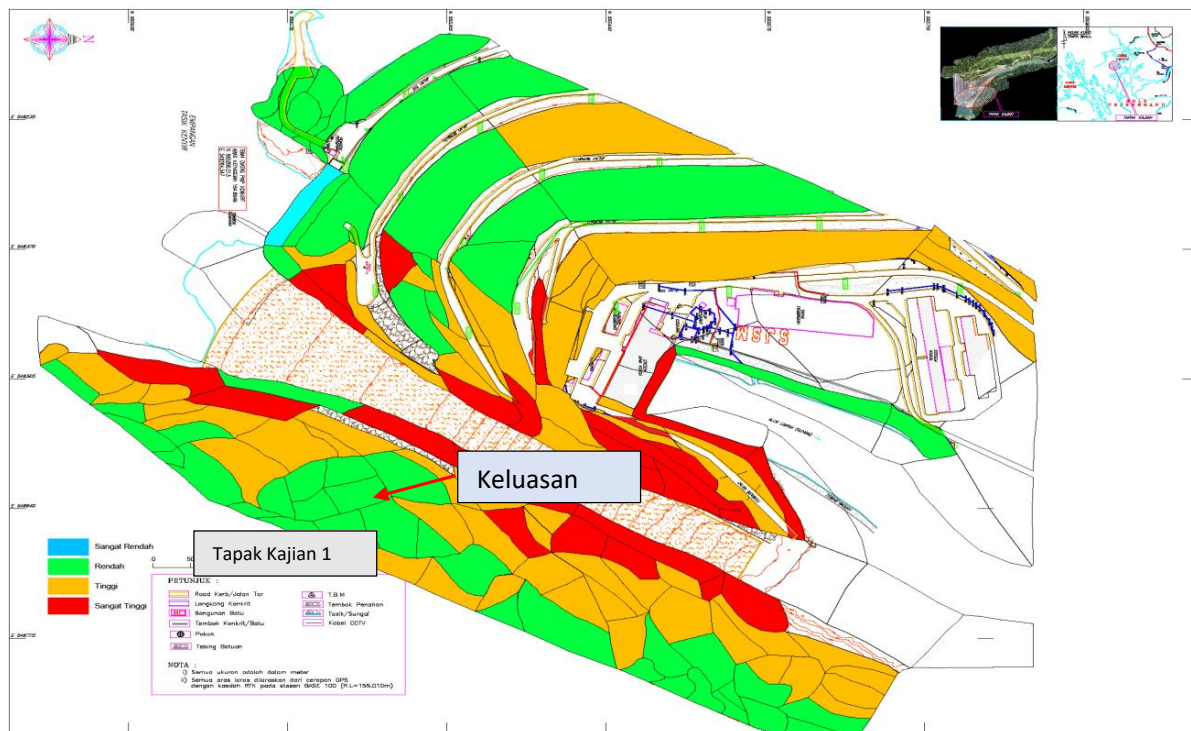
Hampir separuh daripada keseluruhan luas kawasan tapak kajian 1 dikelaskan sebagai geobahaya yang tinggi dan sangat tinggi. Kawasan tersebut meliputi kawasan cerun jalan raya pada teres pertama di dalam kawasan empangan dan sekitar bangunan. Ia memerlukan penyelenggaraan dan pemeriksaan secara berkala. Kawasan geobahaya yang sangat tinggi didapati pada cerun di sepanjang alur limpah empangan. Cerun ini dikategorikan sebagai tidak stabil, memerlukan pemantauan secara instrumentasi, pemeriksaan rapi dan penyelenggaraan cerun yang terperinci.

JADUAL 2. Jadual skor pemboleh ubah parameter

Parameter	Julat skor
Lokasi/kedudukan	Berhampiran puncak (1) Pertengahan cerun (2) Berhampiran kaki bukit (3)
Tinggi cerun (m)	< 10 (1) 10 ke 20 (2) 20 ke 30 (3) > 30 (4)
Sudut cerun (°)	< 45 (1) 45 ke 63 (2) > 63 (3)
Aspek fitur (°)	0 ke 90 (1) 90 ke 180 (2) 180 ke 270 (3) 270 ke 360 (4)
Profil kosong	Cembung (1) lurus (2) Cengkung (3)
Bentuk Keratan Rentas	Cembung (1) Lurus (2) Cengkung (3)
Luas fitur (m ²)	< 2,500 (1) 5,000 ke 7,500 (2) 7,500 ke 10,000 (3) > 10,000 (4)
Jarak ke permatang (m)	< 50 (1) 50 ke 149 (2) 150 ke 249 (3) > 250 (4)
Ketinggian <i>batter</i> / bangku (m)	< 5 (1) 5 ke 9.9 (2) 10 ke 14.9 (3) 15 ke 19.9 (4) 20 (5)
Bentuk cerun	ringkas (1) planar(2) Asimetris (3) gabungan (4)
Jenis tutupan utama	pokok (1) semak (2) rumput (3) tutupan buatan (4)
% fitur tak bertutup	< 10 (1) 10 to 30 (2) > 30 (3)
Jenis tanah	berpasir (1) berlumpur (2) ber-lempung (3)

Kehadiran batuan terdedah	ya (0) tidak (2)
% pendedahan batu	0 ke 25 (1) 26 ke 50 (2) 51 ke 75 (3) 76 ke 100 (4)
Gred luluhawa	I ke II (1) III ke IV (2) V ke VI (3) Gred VI ke Gred Vi dengan batuan teras tongkol (4) koluvium (5)
Saliran bertangga	Ya(0) Tidak (2)
Saliran mendatar	Ya (0) tidak (2)
saliran di bahu jalan / saliran dikaki bukit	Ya (0) tidak (2)
Bilangan air merentasi fitur	0 (1) 1 (2) 2 (3)
Hakisan	Tidak (0) Ya (2)

Sumber: Jamaludin et al. (2012)

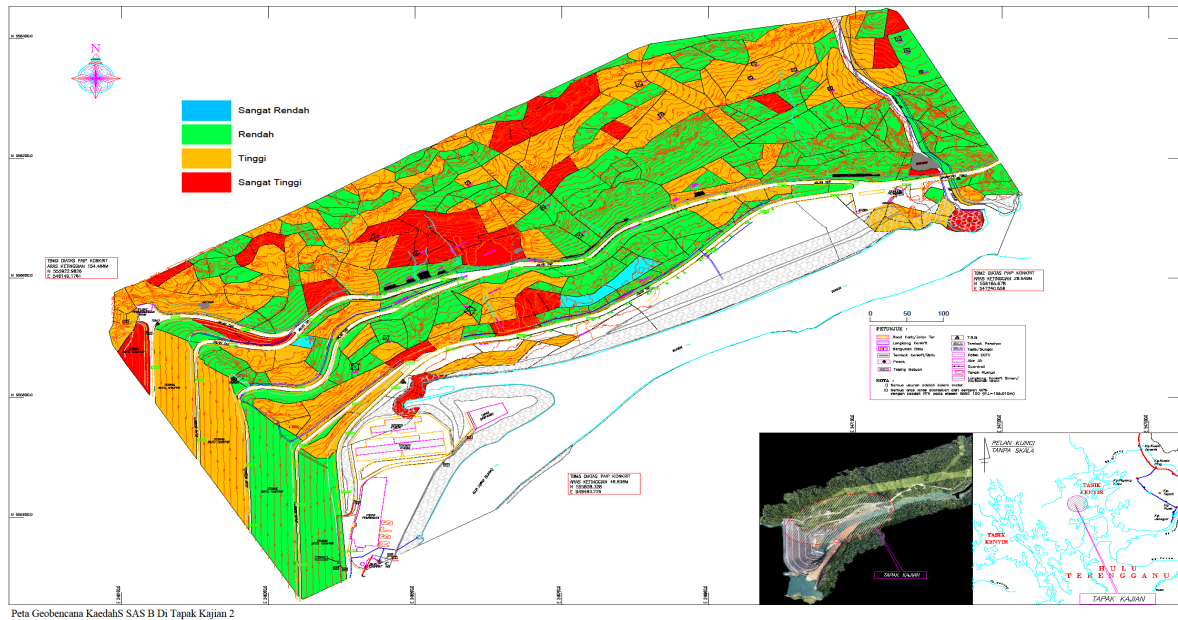


RAJAH 3. Peta hasil penilaian geobahaya kaedah SAS-B di tapak kajian 1

HASIL TAPAK KAJIAN 2

Jumlah keseluruhan cerun di dalam kawasan kajian 2 berdasarkan kajian lapangan adalah sebanyak 254, iaitu cerun potongan kejuruteraan adalah sebanyak 94, cerun semula jadi sebanyak 158 dan cerun tambahan sebanyak 2. Daripada 254 cerun yang dicerap di lapangan,

pemodelan poligon geobahaya menggunakan parameter tertentu menerbitkan sejumlah 379 poligon cerun. Hal ini menunjukkan bahawa satu cerun yang besar dicerap di lapangan telah dimodelkan kepada beberapa poligon cerun yang berbeza berdasarkan parameter tertentu termasuk sudut kemiringan cerun (Rajah 4).



RAJAH 4. Peta hasil penilaian geobahaya kaedah SAS-B di tapak kajian 2

Hasil daripada penilaian geobahaya yang dijalankan terhadap setiap poligon cerun didapati kawasan tapak kajian 2 mempunyai cerun yang dikategorikan sebagai geobahaya tidak bahaya (rendah) yang lebih dominan berbanding dengan cerun geobahaya yang lain, iaitu sebanyak 224 buah cerun.

Penilaian geobahaya yang sangat tinggi (sangat bahaya) adalah sebanyak 28 buah cerun, sementara sebanyak 72 buah cerun pula dikategorikan sebagai tinggi (bahaya). Cerun yang dikategorikan sebagai bahaya dan sangat bahaya di dalam tapak kajian 2 ini merupakan cerun potongan kejuruteraan yang bercampur iaitu cerun batuan dan tanah. Parameter utama yang menghasilkan penilaian geobahaya tinggi dan sangat tinggi adalah sudut cerun yang curam, kehadiran hakisan, kehadiran batuan yang terdedah serta sistem perparitan cerun yang tidak sempurna.

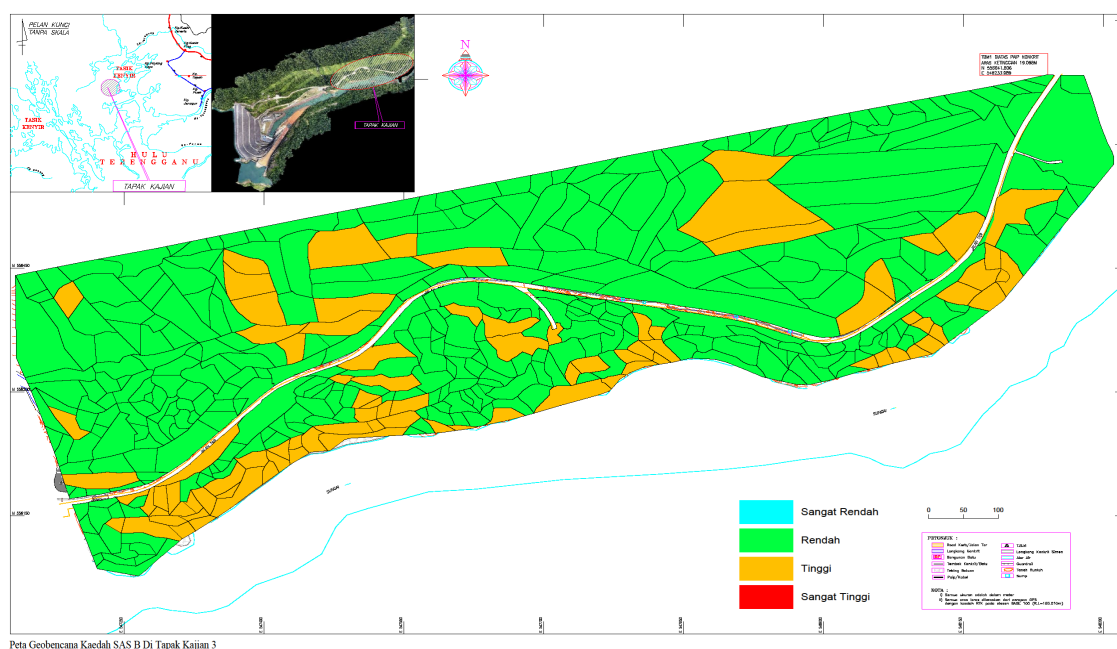
HASIL TAPAK KAJIAN 3

Hasil daripada kerja lapangan yang dijalankan di tapak

kajian 3, sebanyak 462 cerun telah dikenal pasti dan dipetakan di seluruh tapak kajian ini. Daripada jumlah ini didapati bahawa 379 buah cerun adalah jenis cerun semula jadi, sementara cerun potongan kejuruteraan adalah sebanyak 83 buah.

Pemodelan kepada poligon cerun menggunakan perisian ArcGis telah menerbitkan 430 buah poligon cerun yang dianalisis untuk melihat penilaian geobahaya cerun. Ia menunjukkan terdapat cerun yang dibezakan di lapangan telah disatukan menjadi satu poligon cerun di dalam pemodelan (Rajah 5).

Kelas geobahaya cerun yang paling dominan di kawasan tapak kajian 3 adalah geobahaya rendah (tidak bahaya) yang mana sebahagian besar adalah cerun semula jadi dan hanya sedikit cerun potongan kejuruteraan. Cerun geobahaya rendah ini diwakili oleh 188 poligon cerun daripada 430 cerun keseluruhan. Namun begitu, ia meliputi keluasan hampir 70% daripada keseluruhan kawasan tapak kajian 3. Cerun



RAJAH 5. Peta hasil penilaian geobahaya kaedah SAS-B di tapak kajian 3

yang dikategorikan sebagai geobahaya tinggi adalah sebanyak 237 buah cerun dan yang sangat tinggi adalah 5 buah cerun sahaja. Hampir semua cerun yang dikategorikan sebagai tinggi dan sangat tinggi merupakan cerun potongan kejuruteraan yang dilakukan bagi pembinaan menara elektrik mahupun jalan raya. Parameter utama yang menghasilkan sudut kecerunan adalah sistem parit cerun yang kurang sempurna, bentuk cerun, keluasan fitur serta jarak dari permatang. Jamaludin et al. (2006) telah menilai ketepatan Sistem Penilaian Cerun Model A (SPCM-A) dalam meramalkan tanah runtuh berdasarkan data inventori cerun potong granit dan meta-sedimen tidak memuaskan meramalkan tanah runtuh. Namun, Sistem Penilaian Cerun Model B (SPCM-B) didapati memuaskan dengan 90% ketepatan ramalan dengan mempertimbangkan sembilan parameter utama.

KESIMPULAN

Peta potensi tanah runtuh dapat dihasilkan untuk ketiga-tiga lokasi kajian. Namun, terdapat perbezaan ketara iaitu daripada segi ketepatan yang mana lokasi kajian 1 dan 2 tidak tepat. Hanya lokasi kajian 3 yang tepat daripada segi peramalan potensi tanah runtuh ini. Perbezaan ini timbul adalah disebabkan keadaan cerun yang berbeza daripada segi jenis cerun iaitu di tapak kajian 1 adalah

cerun batuan dan tapak kajian 3 cerun didominasi cerun semula jadi. Kajian menunjukkan bahawa sistem penilaian geobahaya Sistem Penilaian Cerun Model-B adalah sangat sesuai dalam menentukan skor geobahaya cerun di dalam kawasan kajian 2. Kaedah ini adalah berkesan bagi menilai kesemua jenis cerun sama ada cerun potongan kejuruteraan dan cerun tambakan. Namun begitu, terdapat beberapa parameter yang perlu dipertimbangkan bagi penilaian geobahaya cerun jenis batuan iaitu litologi, kualiti batuan, ketakselajaran, geometri cerun dan kadar luluhawa yang tidak dimasukkan dalam sistem penilaian SPCM-B. Parameter yang perlu dipertimbangkan bagi cerun potongan tanah bercampur batuan pula adalah berkaitan dengan sistem perparitan cerun, kewujudan batuan tongkol dan air liang. Kaedah SPCM-B adalah merupakan kaedah pemetaan geobahaya yang sangat berguna untuk dijadikan sebagai asas penentuan skor bahaya cerun bagi jenis cerun potongan kejuruteraan.

PENGHARGAAN

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

RUJUKAN

- 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.
- Fredlund, D.G. & Krahn, J. 1977. Comparison of slope stability methods of analysis. *Canadian Geotechnical Journal* 14: 429-439.
- Ghani, A.A. 2004. Chemical characteristics of some of the granitic bodies from Terengganu area, Peninsular Malaysia. *Annual Geological Conference*. Kangar: Geological Society of Malaysia. pp. 31-35.
- Huat, B.B.K. & Jamaludin, S. 2005. Evaluation of slope assessment system in predicting landslides along roads underlain by granitic formation. *American Journal of Environmental Sciences* 1(2): 90-96.
- Jamaludin, S. 2006. Development of a cut-slope stability assessment system for Peninsular Malaysia. MSc. Tesis. Universiti Putra Malaysia (Tidak diterbitkan). <https://www.researchgate.net/publication/279466792>
- Jamaludin, S., Huat, B.B.K. & Omar, H. 2012. Evaluation and development of cut-slope assessment systems for Peninsular Malaysia in predicting landslides in granitic formation. *Jurnal Teknologi* 44(1): 31-46.
- Jamaludin, S., Huat, B.B.K. & Omar, H. 2006. Evaluation of slope assessment systems for predicting landslides of cut slopes in granitic and meta-sediment formations. *American Journal of Environmental Sciences* 2(4): 135-140.
- Kamilia, S., Rodeano, R., Ern, L.K. & Norbert, S. 2017. Landslide factors and susceptibility mapping on natural and artificial slopes in Kundasang, Sabah. *Sains Malaysiana* 46(9): 1531-1540.
- Norbert, S., Michael, C., de Mairead, R. & Abdul Ghani, R. 2017. Representing landslides as polygon (areal) or points? How different data types influence the accuracy of landslide susceptibility maps. *Sains Malaysiana* 46(1): 27-34.

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