

Pemodelan Ruangan Pelbagai Jenis Kegagalan Cerun di Pulau Pinang Menggunakan Kaedah Nisbah Kekerapan

Spatial Modeling of Various Slope Failures in Pulau Pinang Using Frequency Ratio Method

Nuriah Abd Majid* Ruslan Rainis & Wan Mohd Muhiyuddin Wan Ibrahim
Unit Forensik Ruangan, Bahagian Geografi, Pusat Pengajian Ilmu Kemanusiaan,
Universiti Sains Malaysia, 11800 Pulau Pinang, Malaysia.
*e-mel: nurr3778@gmail.com

Received: 16 January 2017; Accepted: 18 July 2017; Published: 31 October 2017

Abstrak

Artikel ini membincangkan pemodelan pelbagai jenis kegagalan cerun di Pulau Pinang menggunakan kaedah nisbah kekerapan. Kajian ini menggunakan lima faktor pembolehubah yang mempengaruhi kejadian kegagalan cerun antaranya ialah faktor jarak kegagalan cerun ke jalan, jenis litologi, jenis siri tanah, purata hujan tahunan dan ketinggian topografi. Hasil ketepatan model masing-masing adalah jenis batuan adalah sebanyak 76.15 peratus, jenis tumbang adalah 61.54 peratus, jenis gelongsoran adalah 70 peratus dan jenis aliran adalah 78.46 peratus. Secara keseluruhan ini menunjukkan peta kerentanan pelbagai jenis kegagalan cerun adalah baik. Kaedah nisbah kekerapan sesuai digunakan dan dijadikan panduan dalam pengurusan dan perancangan pembangunan.

Kata kunci kegagalan cerun, nisbah kekerapan (FR), Sistem Maklumat Geografi (GIS), peta kerentanan, Pulau Pinang

Abstract

This paper discusses the modeling on various types of slope failure in Penang using frequency ratio method in Penang. This study used five variables affecting the occurrence of slope failures which include slope failure distance to the road factor, type of lithology, type of soil series, mean annual precipitation and topographic elevation. The accuracies of the respective models are 76.15 percent for rockfall, 61.54 percent for topple, 70 percent for slide and 78.46 percent for flow. Overall, this study showed that the susceptibility map of various types of slope failure are good. Frequency ratio method is suitably used as a guide in the management and development planning.

Keywords slope failure, frequency ratio (FR), Geographic Information System (GIS), susceptibility map, Pulau Pinang

PENGENALAN

Sejak akhir-akhir ini, dunia telah mengalami pelbagai bencana alam seperti kegagalan cerun, tsunami, jerebu, banjir, kemarau dan pelbagai lagi bencana yang telah mengancam nyawa, kesihatan dan alam sekitar penduduk. Hal ini disebabkan keperluan manusia yang semakin meningkat sehinggakan banyak kawasan pertanian, perhutanan dan kawasan bukit perlu dimajukan sehingga mengakibatkan kawasan lereng bukit dibersihkan dan ditarah secara besar-besaran (Abdul Samad, 1990; Abdul Samad et al., 2014; Ahmad Fariz, 2014; Yazid et al., 2015). Hal ini menyebabkan masalah kepada alam sekitar dan mengganggu ekosistem sehingga mengundang kepada pelbagai masalah alam sekitar seperti kajian Kannan et al. (2013); Sharma et al., (2013); dan Alimohammadlou et al., (2013). Pembangunan yang berlaku di kawasan tanah tinggi sering menimbulkan masalah kegagalan cerun.

Kegagalan cerun merupakan suatu fenomena yang kompleks dalam konteks ruang dan masa hasil daripada interaksi pelbagai faktor seperti geologi, geomorfologi, fizikal dan manusia (Varnes, 1978; Cruden & Varnes, 1996; Knapen et al., 2006; Goetz et al., 2011). Menurut Tjia, (1987) kegagalan cerun ditakrifkan

sebagai pergerakan jisim tanah dan puing batuan yang besar menuruni bukit kerana tindakan graviti. Kegagalan cerun melibatkan jisim bahan yang besar berlaku dengan amat pantas menyebabkan bahaya kerana kerosakan besar yang berlaku terhadap harta benda dan nyawa manusia.

Dari 1961 hingga 2007, Malaysia telah merekodkan sebanyak 440 kes kejadian kegagalan cerun, 25 daripadanya adalah kritikal. Sebanyak 570 nyawa terkorban, 140 cedera dan 4,300 kenderaan rosak. Hal ini kerana jumlah hujan yang banyak menjadi pencetus kepada kegagalan cerun di Malaysia. Kejadian kegagalan cerun dalam tragedi Highland Tower pada Disember 1993 yang mengorbankan 48 nyawa meninggalkan kesan yang besar kepada negara (Sinar Harian, 2013). Walau bagaimanapun, kematian paling tinggi yang dilaporkan bagi kejadian kegagalan cerun adalah pada 26 Disember 1996 apabila apabila aliran puing yang diakibatkan oleh Ribut Tropika 'Greg' yang meranapkan beberapa kampung di Keningau, Sabah dan mengorbankan 302 nyawa (Bernama, 2011). Menurut Jabatan Kerja Raya, (2009) inventori kegagalan cerun sejak 1973-2007 melibatkan RM15 juta dan 502 orang telah terkorban.

Kegagalan cerun adalah bencana yang berpotensi memusnahkan alam sekitar. Kegagalan cerun kerap berlaku di Malaysia disebabkan oleh hujan lebat terutama pada musim tengkujuh. Meramal kejadian kegagalan cerun adalah penting bagi mengenalpasti kawasan yang berisiko berlakunya kejadian kegagalan cerun. Terdapat pelbagai jenis kegagalan cerun antaranya kegagalan jenis aliran, jenis tumbang, jenis gelongsoran dan jenis jatuhnya batuan. Walau bagaimanapun, sejarah kegagalan cerun yang paling buruk dilaporkan di kawasan Paya Terubong. Kegagalan cerun di Paya Terubong, Pulau Pinang pada 1998 adalah disebabkan hujan yang lebat pada bukit yang berkecerunan lebih daripada 60 darjah. Di Balik Pulau pada September 2008 berlaku mendapan dan kegagalan cerun di Jalan Tun Sardon, dan Jalan Tanjung Bungah ke Batu Feringghi disebabkan hujan lebat. Selain itu, kegagalan cerun di Bukit Bendera juga pada 2008 disebabkan hujan lebat. Kejadian kegagalan cerun banyak berlaku di kawasan perumahan disebabkan kegagalan perancangan rancangan pembangunan kawasan bukit yang mengakibatkan hakisan tanah, ketidakstabilan tanah dan kesan geologikal yang berbahaya seperti di Solok Tan Jit Seng di Tanjung Bungah dan di kawasan Muzium Perang di Batu Maung (Bernama, 2009). Berdasarkan sejarah kejadian kegagalan cerun yang kerap berlaku di Pulau Pinang, ini mendorong Pulau Pinang dipilih sebagai kawasan kajian.

Kajian kegagalan cerun memerlukan data yang banyak dan pangkalan data yang besar. Oleh yang demikian penggunaan Sistem maklumat geografi (GIS) adalah sangat penting. GIS sudah tidak asing lagi dalam pelbagai bidang termasuklah dalam kegagalan cerun. Penggunaan GIS sebagai alat asas untuk menganalisis bahaya kegagalan cerun, seterusnya pemetaan yang sangat berkesan bagi pengurusan data ruangan dan manipulasi data. Terdapat banyak kajian yang menggunakan GIS, antaranya Guzzetti et al. (1999), beliau menggunakan GIS bagi penilaian bahaya kegagalan cerun. Selain itu kajian kegagalan cerun menggunakan model kebarangkalian seperti kajian Akgun et al., (2008); Dahal et al., (2008); Clerici et al., (2002); Lee dan Pradhan, (2006). Penggunaan model regrasi logistik turut digunakan dalam memeta bahaya kegagalan cerun sebagaimana kajian oleh Akgun dan Bulut (2007); Tunusluoglu et al. (2008); Lamelas et al. (2008); Atkinson dan Massari (1998); Suzen dan Doyuran (2004); Dai & Lee (2002) di kawasan yang berlainan di dunia. Bagi model geoteknikal dan model faktor keselamatan juga telah digunakan oleh ramai penyelidik seperti Gokceoglu et al. (2000); Romeo, (2000); Rece & Capolongo (2002); Carro et al. (2003); Zhou et al. (2003); Youssef et al. (2009). Penilaian kegagalan cerun menggunakan GIS, termasuk menggunakan fuzzy logik, dan model ANN telah digunakan di kawasan lain di seluruh dunia (Ercanoglu & Gokceoglu, 2002; Lee & Pradhan, 2007; Pradhan et al., 2009; Choi et al., 2010).

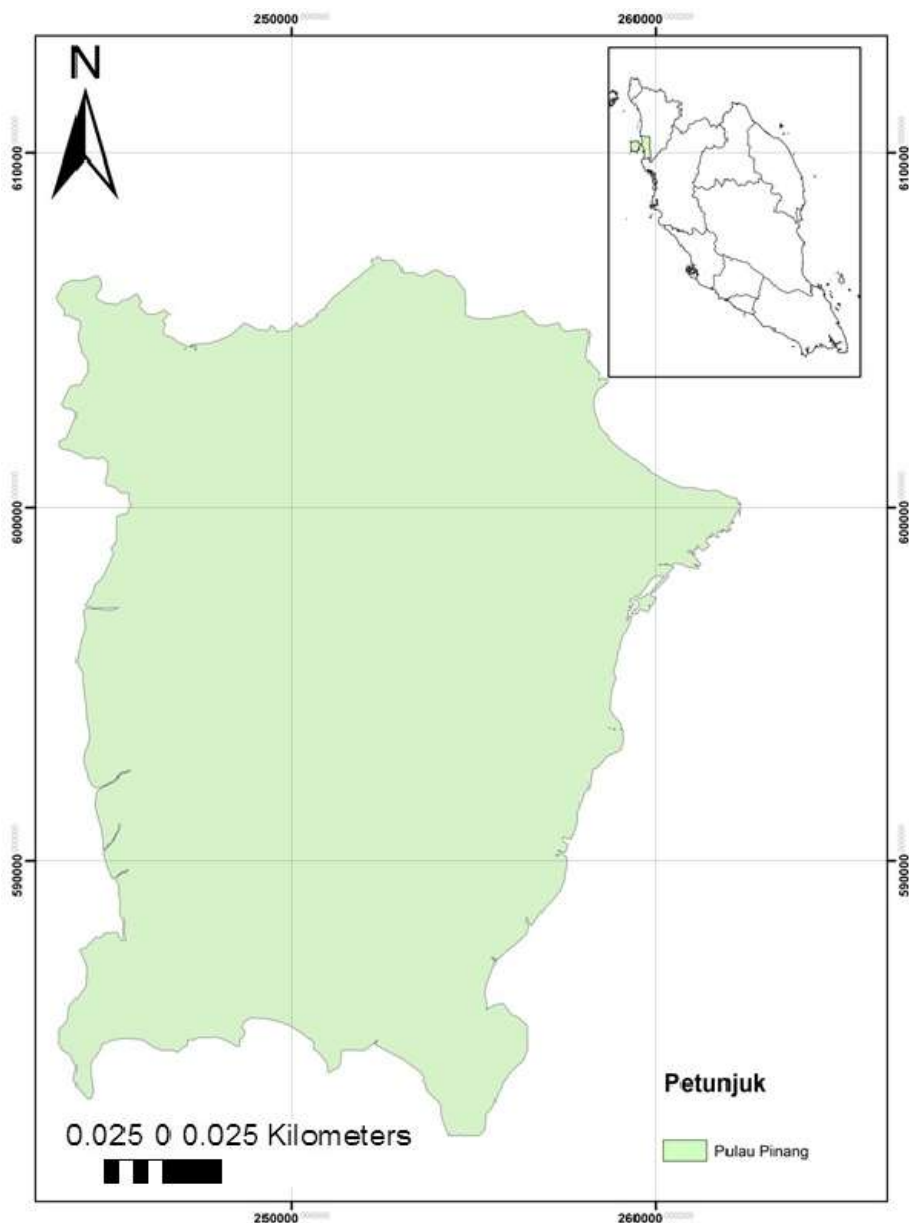
Sebelum ini, tidak begitu banyak kajian kegagalan cerun dilakukan di Pulau Pinang. Lee dan Pradhan (2007) membuat kajian berkaitan dengan bencana dan risiko kegagalan cerun menggunakan model nisbah kekekapan, kaedah logistik regresi dan rangkaian saraf buatan (ANN). Walau bagaimanapun, kajian yang dilakukan lebih bersifat agregat iaitu model kegagalan cerun yang dihasilkan secara keseluruhan tanpa mengambilkira jenis kegagalan cerun yang berlaku. Oleh yang demikian, kajian ini mengambil inisiatif untuk menilai kejadian pelbagai jenis kegagalan cerun. Hal ini kerana jenis kegagalan cerun yang berbeza mempunyai ciri-ciri berbeza serta risiko dan langkah pencegahan adalah berbeza. Tujuan kajian ini adalah menghasilkan zon kebolehtahanan kegagalan cerun berdasarkan pelbagai jenis kegagalan cerun yang berbeza di Pulau Pinang dengan menggunakan kaedah nisbah kekekapan.

KAWASAN KAJIAN

Dalam kajian ini, Pulau Pinang (Rajah 1) telah dipilih bagi pelaksanaan analisis kegagalan cerun menggunakan model nisbah kekekapan. Hal ini kerana kawasan Pulau Pinang merupakan kawasan yang

sering berlaku kegagalan cerun. Pulau Pinang terletak di Selat Melaka pada garis lintang latitud 5 08' U-535'U dan longitud 100 08' B - 100 032' B. Data bancian penduduk Pulau Pinang menunjukkan berlaku penambahan jumlah penduduk pada tahun 2010 iaitu sebanyak 5.7 peratus. Kepadatan penduduk juga meningkat kepada 1505 orang bagi setiap km persegi. Keadaan ini menyebabkan berlaku juga peningkatan permintaan perumahan dan pembangunan lain di Pulau Pinang. Memandangkan hampir 50 peratus topografi Pulau Pinang adalah bertanah tinggi maka pembinaan kawasan perumahan dan pembangunan lain terpaksa dilakukan di kawasan tanah tinggi. Ini menambah risiko kegagalan cerun jika perancangan pembangunan tidak dilakukan secara mesra alam.

Menurut Jabatan Meteorologi Malaysia pada 2015, suhu Pulau Pinang adalah antara minimum 24 °C hingga maksimum 30 °C. Pulau Pinang mempunyai suhu yang seragam, kelembapan yang tinggi dan hujan yang banyak. Suhu dan hujan begini menggalakkan berlaku aliran air bawah tanah dan pergerakan jisim melalui proses luluhawa. Menurut Bujang et al. (2008), jumlah hujan dan suhu tahunan yang tinggi akan menggalakkan proses luluhawa sehingga mampu menerobos 100 m ke dalam tanah, dan seterusnya mampu menghasilkan kejadian tanah runtuh berskala besar. Hal ini ditambah dengan sifat geologi batuan yang mudah retak apabila berlaku peningkatan suhu dan penambahan air di dalam retakan dan rekahan batuan. Gabungan cuaca dan sifat batuan yang terdapat di Pulau Pinang menambah risiko berlaku kegagalan cerun.



Rajah 1 Kawasan kajian

METODOLOGI

Untuk tujuan ini, data dikumpulkan berdasarkan parameter yang digunakan bagi mengkaji kegagalan cerun di kawasan kajian. Seterusnya pengiraan nisbah kekerasan dilakukan bagi setiap pembolehubah dan pelbagai jenis kegagalan cerun. Akhirnya, peta kebolehtahanan kegagalan cerun pelbagai jenis dihasilkan dan ketepatannya dibincangkan.

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi kegagalan cerun (Cruden & Varnes, 1996; Dahal et al., 2008). Secara umumnya hubungkait ini boleh dimodelkan seperti persamaan 1.1. Namun begitu, dalam kajian yang dilakukan, hanya lima faktor pembolehubah sahaja yang digunakan untuk menentukan kegagalan cerun melalui kaedah nisbah kekerasan. Pemilihan faktor pembolehubah sangat penting dalam pembangunan model ruang kegagalan cerun. Penggunaan lima faktor pembolehubah adalah kerana bagi melihat perbezaan jenis kegagalan cerun yang berbeza. Lima faktor tersebut dinyatakan dalam persamaan 1.2. Pembolehubah ini seringkali digunakan dalam kajian kegagalan cerun dan dianggap penting.

Persamaan 1.2 menunjukkan perincian bagi membangunkan model ruang kegagalan cerun di kawasan kajian. Model ini menghubungkan kegagalan cerun dengan faktor ruangnya. Setiap faktor dan justifikasi kepentingan setiap pembolehubah yang dipertimbangkan dalam kajian ini dinyatakan secara terperinci pada perbincangan yang seterusnya.

$$C = f (F_1, F_2, F_3, F_4, \dots, F_n) \quad (1.1)$$

$$C_m = f (F_1, F_2, F_3, F_4, F_5) \quad (1.2)$$

di mana,

C_m = Kegagalan cerun mengikut jenis cerun

F_1 = Jarak kegagalan cerun ke jalan

F_2 = Siri tanah

F_3 = Litologi batuan

F_4 = Ketinggian topografi

F_5 = Purata hujan tahunan

Kegagalan cerun mempunyai hubungkait dengan pembangunan infrastruktur terutama di kawasan perlombongan, jalan raya, lebuh raya dan kawasan petempatan (Ibrahim, 1989; Poudyal et al., 2010). Menurut Oh dan Pradhan (2011) pembinaan jalan raya adalah faktor penyumbang kejadian kegagalan cerun kerana melibatkan pemotongan cerun dan pemindahan bahan insitu ke kawasan yang ditambah.

Siri tanah ditentukan berdasarkan struktur, jenis dan susunan horizon, warna, pH dan mineralogi. Pembentukan tanah adalah terhasil daripada proses luluhawa batuan dan bahan organik. Siri tanah di kawasan kajian iaitu Kuala Kedah Permatang yang terdiri daripada tanah liat. Siri Rengam pula terdiri dari tanah lempung yang berpasir kasar dan daripada batuan jenis metamorfis. Siri Selangor Kangkung pula terdiri daripada tanah liat bersaiz sederhana dan dihasilkan dari asid sulfat tanah. Alluvium tempatan dan siri koluvium terdiri dari iaitu campuran pasir, tanah liat, lanar dan bahan organik atau lempung. Tanah curam sebahagian besarnya berada di bahagian tengah Pulau Pinang yang terdiri daripada batuan granit.

Litologi, sebagai satu kumpulan, adalah salah satu faktor yang paling penting menyumbang kepada kegagalan cerun. Litologi adalah perbezaan jenis batuan dalam pelbagai komposisi struktur, kekuatan bahan (Kanungo et al., 2006). Jenis-jenis batuan yang berbeza menghasilkan rintangan yang berbeza terhadap luluhawa dan proses hakisan kerana ciri-ciri yang berbeza-beza seperti komposisi, struktur, dan padat (Kai et al., 2015). Sebahagian besar dari Pulau Pinang adalah dilapisi oleh batuan igneus (Lee & Pradhan, 2006).

Ketinggian topografi merujuk kepada ketinggian bentuk muka bumi di sesuatu kawasan. Ketinggian yang dimaksudkan ialah garisan kontur untuk mengukur aras ketinggian. Parameter utama dalam analisis kestabilan cerun ialah sudut cerun. Topografi yang curam menyumbangkan kejadian kegagalan cerun (Chen et al., 2011; Caniani et al., 2007; Pradhan et al., 2009).

Hujan adalah salah satu bentuk kerpasan yang turun ke bumi sebagai proses yang melengkapkan kitaran air bumi. Kejadian kegagalan cerun lazimnya berlaku disebabkan hujan lebat dalam tempoh yang panjang seperti kajian Fatimah Shafinaz (2005) dan Hong et al. (2016). Menurut Pradhan et al. (2009) kegagalan cerun di Malaysia adalah disebabkan oleh hujan tropika dan banjir. Hujan secara tidak langsung akan meresapi dalam tanah dan menyebabkan struktur tanah menjadi longgar seterusnya tanah akan hilang kestabilan mengakibatkan kejadian kegagalan cerun terutamanya pada waktu musim hujan (Mohd Kamal, 2007; Gerrard, 1981). Kajian ini menggunakan data purata hujan tahunan dan metod Thiessen yang

digunakan untuk mendapatkan taburan purata hujan tahunan.

Terdapat banyak kaedah untuk mencari fungsi (F), kajian ini menggunakan kaedah nisbah kekerapan sebagai fungsi (F). Pendekatan nisbah kekerapan adalah berdasarkan hubungan antara taburan kegagalan cerun dan setiap faktor yang berkaitan dengan kegagalan cerun. Kekerapan dikira daripada analisis hubungan antara kegagalan cerun dan faktor-faktor yang dikaitkan.

Nisbah kekerapan adalah nisbah kebarangkalian berlaku kejadian kegagalan cerun kepada kebarangkalian yang tidak berlakunya untuk sifat-sifat yang diberikan (Carter, 1994). Pertama, nisbah kekerapan dikira bagi setiap julat atau jenis faktor dan nisbah kekerapan telah disimpulkan untuk mengira indeks kerentanan kegagalan cerun LSI (*Landslide Susceptibility Indeks*) (Lee & Jasmi, 2005) seperti persamaan 1.3:

$$LSI_m = \sum_{i=1}^n FR_{nm} \dots \dots \dots (1.3)$$

di mana,

LSI = Peta kebolehtahanan kegagalan cerun

FR = nisbah kekerapan

m = jenis kegagalan cerun

n = bilangan faktor pembolehubah

Untuk analisis kerentanan kegagalan cerun, kaedah nisbah kekerapan telah digunakan secara meluas, ianya mudah dilaksanakan (Akgun et al., 2008; Lee & Jasmi, 2005; Lee & Sambath, 2006; Yilmaz, 2007). Jadual 1 menunjukkan senarai lapisan data yang digunakan dalam kajian ini. Pembolehubah yang digunakan adalah topografi, geologi, jenis siri tanah, hujan dan jarak kegagalan cerun ke jalan raya. Pembolehubah ini terdiri daripada jenis data dan skala yang berbeza.

Jadual 1 Lapisan data kawasan kajian

Pengkelasan	Pembolehubah	Jenis data	Skala
Peta asas	Ketinggian topografi	Garisan	1: 25 000
	Geologi	Poligon	1: 50 000
	Siri tanah	Poligon	1: 50 000
	Purata hujan tahunan	Poligon	1 : 50000
	Jalan raya	Garisan	1 :25 000

HASIL KAJIAN DAN PERBINCANGAN

Sebanyak 80 peratus data digunakan bagi menghasilkan model manakala sebanyak 20 peratus data pula digunakan sebagai penilaian model. Keseluruhan data adalah sebanyak 323 kes kegagalan cerun. Berdasarkan Jadual 2, pembolehubah litologi mempunyai dua jenis iaitu kuarternari dan granit. Keluasan masing-masing adalah 26 peratus dan 74 peratus. Nilai yang lebih dari 1 menunjukkan kebarangkalian yang lebih tinggi untuk berlaku kegagalan cerun dan sebaliknya (Carter, 1994). Nisbah kekerapan bagi jenis kegagalan cerun aliran adalah 0.13 bagi kuarternari dan granit pula adalah 1.31. Nisbah kekerapan kegagalan cerun jenis batuan bagi kuarternari adalah 0.11, bagi nisbah kekerapan bagi kegagalan cerun jenis gelongsoran 1.34 bagi granit. Bagi nisbah kekerapan bagi kegagalan cerun jenis kegagalan cerun tumbang adalah 1.35 bagi litologi jenis granit.

Nisbah kekerapan jenis setiap faktor dikira dari hubungan dengan kes-kes kegagalan cerun seperti di Jadual 1. Dalam analisis hubungan, nisbah kekerapan adalah kawasan di mana kegagalan cerun berlaku kepada jumlah kawasan, supaya nilai 1 adalah nilai purata. Jika nilai adalah lebih besar daripada 1, ia bermakna korelasi yang lebih tinggi, dan nilai yang lebih rendah daripada 1 bermaksud korelasi yang lebih rendah.

Hubungan antara kawasan kegagalan cerun dan faktor-faktor kegagalan cerun dapat dibezakan daripada kawasan tanpa kegagalan cerun melalui pemetaan. Nisbah kekerapan telah digunakan bagi mewakili perbezaan ini secara kuantitatif. Faktor-faktor yang dipilih seperti ketinggian cerun, jenis litologi, siri tanah, purata hujan tahunan dan jarak kegagalan cerun ke jalan raya. Pendekatan ini adalah berdasarkan hubungan antara setiap faktor dan kegagalan cerun.

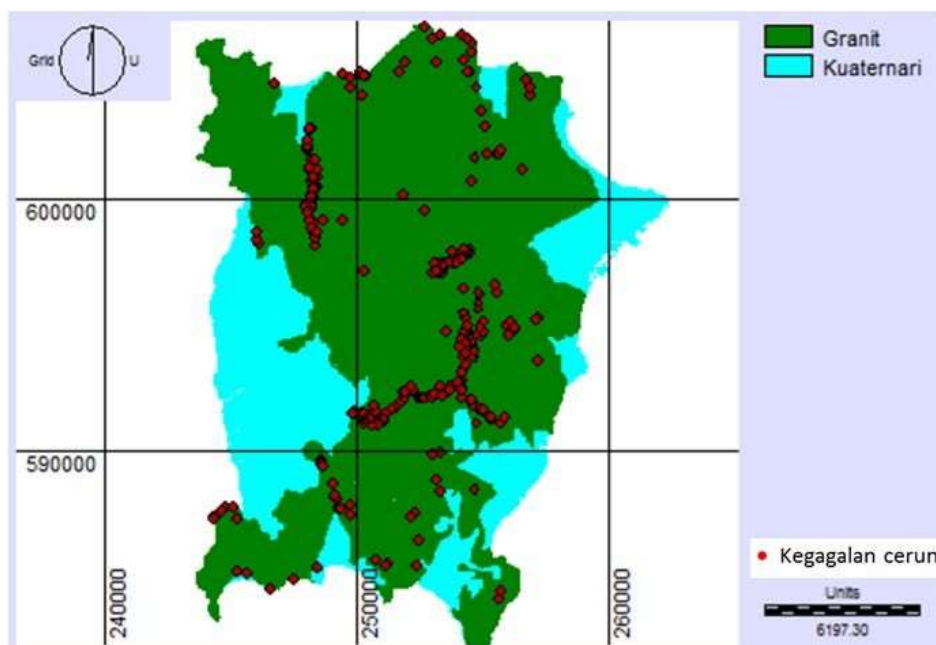
Bagi pembolehubah ketinggian topografi, nisbah kekerapan paling tinggi pada kecuraman lebih dari 20 darjah iaitu sebanyak 2.18, bagi kegagalan cerun jenis aliran, manakala bagi kegagalan cerun jenis batuan pula nisbah kekerapan yang paling tinggi adalah pada ketinggian yang tertinggi.

Jadual 2 Nisbah kekerapan bagi setiap pembolehubah

Pembolehubah		Jumlah sel	Peratus keluasan	Kegagalan cerun											
				Aliran			Batuan			Gelongsoran			Tumbang		
				Bil	%	FR	Bil	%	FR	Bil	%	FR	Bil	%	FR
Litologi	Kuaternari	85706	25.99	1	3.33	0.13	3	2.94	0.11	1	0.62	0.02	0	0	0
	Granit	244034	74	29	96.67	1.31	99	97.06	1.312	160	99.37	1.34	30	100	1.35
Ketinggian topografi	<20	35212	10.68	7	23.33	2.18	20	19.61	1.83	26	16.44	1.54	5	16.67	1.56
	20-100	128436	38.95	22	56	0.02	60	58.82	4.57	111	68.94	1.77	22	73.33	1.88
	100-500	127484	38.66	1	3.33	0.086	18	17.65	1.38	19	11.8	0.3	2	6.66	0.17
	500-1000	38608	11.71	0	0	0	4	3.92	1.015	5	3.1	0.26	1	3.33	0.28
Jarak ke jalan	<20	22487	6.82	15	50	7.33	49	48.03	7.04	72	44.72	6.56	16	53.33	7.82
	20-100	71633	21.72	8	26.66	1.22	25	24.5	1.12	57	35.4	1.63	8	26.67	1.22
	100-500	107397	32.58	4	13.33	0.401	16	15.68	0.48	20	12.42	0.38	2	6.66	1.22
	500-1000	73649	22.33	2	6.68	0.29	9	8.82	0.39	7	4.35	0.68	2	6.66	0.2
Siri Tanih	>1000	54574	16.55	1	3.33	1.99	3	2.94	0.17	5	3.1	0.18	2	6.66	0.4
	Aluvium tempatan	1152	0.35	0	0	0	1	0.98	2.8	0	0	0	0	0	0
	Siri serong	30729	9.32	1	3.33	9.51	2	1.96	0.21	0	0	0	0	0	0
	Rengam bukit termiang	39084	11.86	10	33.33	3.57	5	4.9	0.41	7	4.35	0.37	0	0	0
	Kuala kedah permatang	70590	21.4	0	0	0	9	8.82	0.41	12	7.45	0.35	3	10	0.83
	Tanah pembangunan	165640	50.23	0	0	0	11	10.79	0.21	16	9.94	0.19	4	13.33	0.26
Purata hujan tahunan	Tanah curam	22545	6.84	19	63.34	0.012	74	72.55	10.61	126	78.26	11.44	23	76.66	11.21
	2212	44978	13.64	1	3.33	0.24	2	1.96	0.14	8	4.98	0.36	0	0	0
	2314	33519	10.16	0	0	0	6	5.88	0.57	15	9.31	0.91	5	16.67	1.64
	2449	59335	17.99	3	10	0.55	62	60.79	3.37	68	42.23	2.35	7	23.33	1.29
	2500	36796	11.15	10	33.33	2.98	2	1.96	0.17	3	1.87	0.16	4	13.34	1.19
	2694	58926	17.88	16	53.34	2.98	6	5.89	0.33	34	21.11	1.18	7	23.33	1.3
2745	96186	29.18	0	0	0	24	23.52	0.81	33	20.5	0.7	7	23.33	0.79	

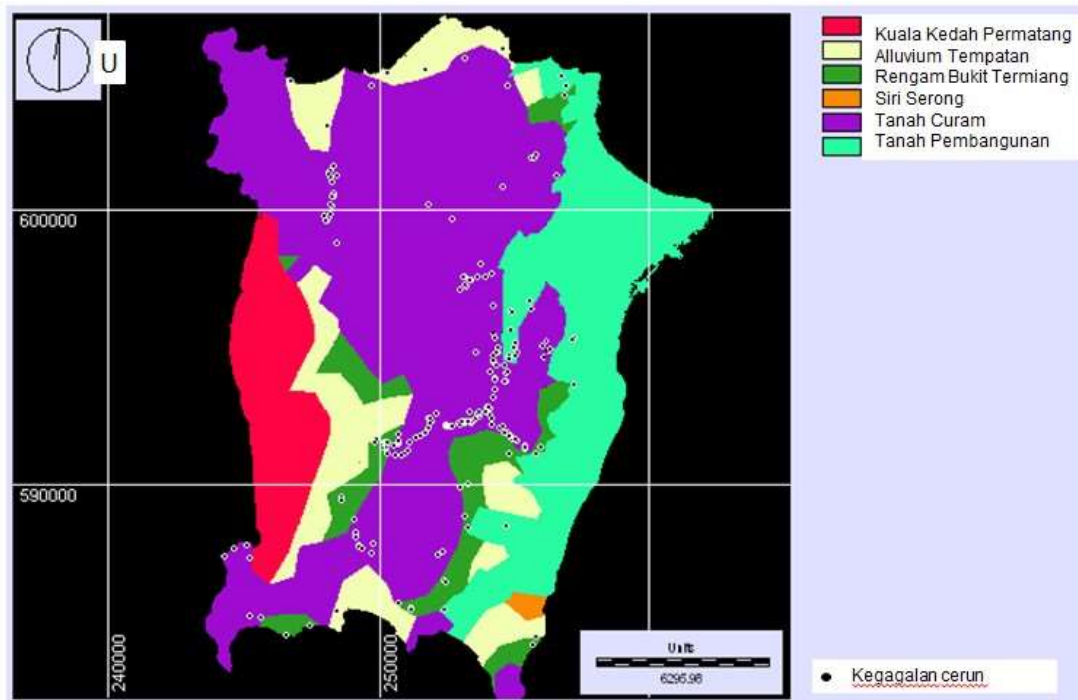
Rajah 2, Rajah 3, Rajah 4, Rajah 5 dan Rajah 6 menunjukkan peta pembolehubah nisbah kekerapan yang digunakan dalam analisis ini, iaitu peta jarak kegagalan cerun ke jalan raya, ketinggian topografi, peta purata hujan tahunan, siri tanih dan litologi. Kesemua peta pembolehubah ini adalah mempunyai nilai yang berlainan berdasarkan nisbah kekerapan masing-masing yang digunakan untuk mendapatkan peta kerentanan kegagalan cerun bagi setiap model kegagalan cerun.

Rajah 2 menunjukkan peta litologi bagi kawasan kajian iaitu terdapat dua jenis litologi yang terdiri daripada granit dan kuaternari. Namun kegagalan cerun adalah lebih dominan di kawasan litologi jenis granit berbanding kuaternari. Hal ini kerana kebanyakan kejadian kegagalan cerun berlaku di kawasan litologi jenis granit iaitu di kawasan tanah yang lebih tinggi dan berbatu.



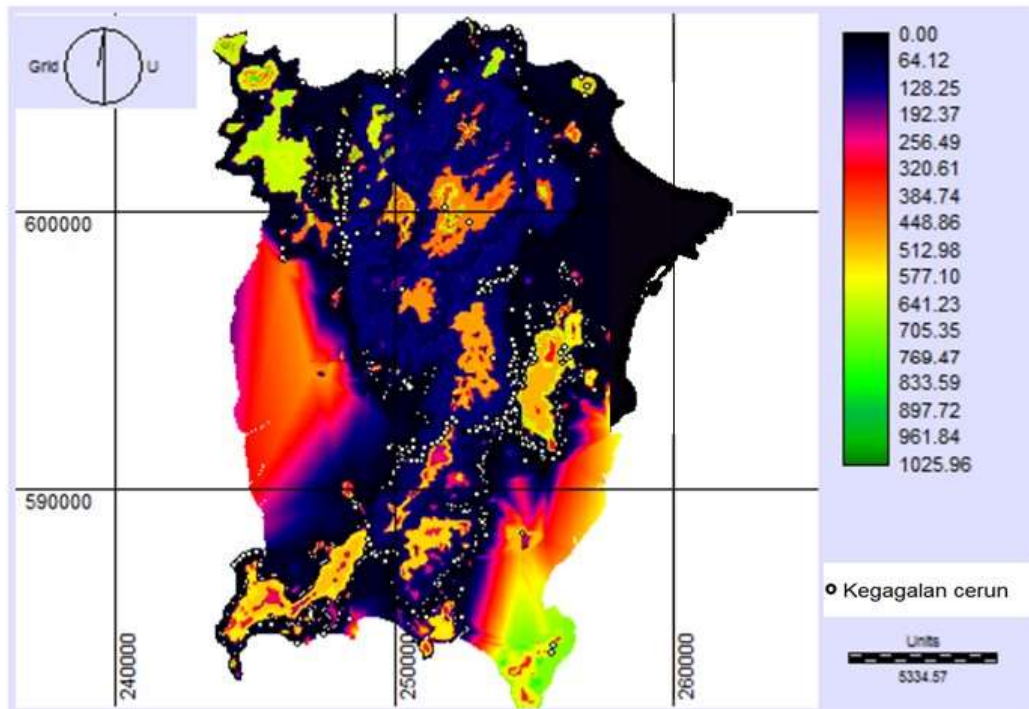
Rajah 2 Peta taburan kegagalan cerun berdasarkan litologi

Rajah 3 pula menunjukkan peta bagi jenis siri tanih di kawasan kajian yang digunakan sebagai salah satu pembolehubah. Terdapat enam jenis siri tanih antaranya adalah siri tanih aluvium tempatan, siri Serong, Rengam Bukit Termiang, Kuala Kedah Permatang, tanah pembangunan dan tanah curam. Namun demikian, setiap siri tanih yang berbeza mempunyai sifat yang berlainan. Hal ini akan menyumbang kepada kegagalan cerun yang berbeza. Lazimnya kegagalan cerun berlaku di kawasan siri tanih jenis curam kerana sifat siri tanih curam adalah lebih dominan dengan kejadian kegagalan cerun.

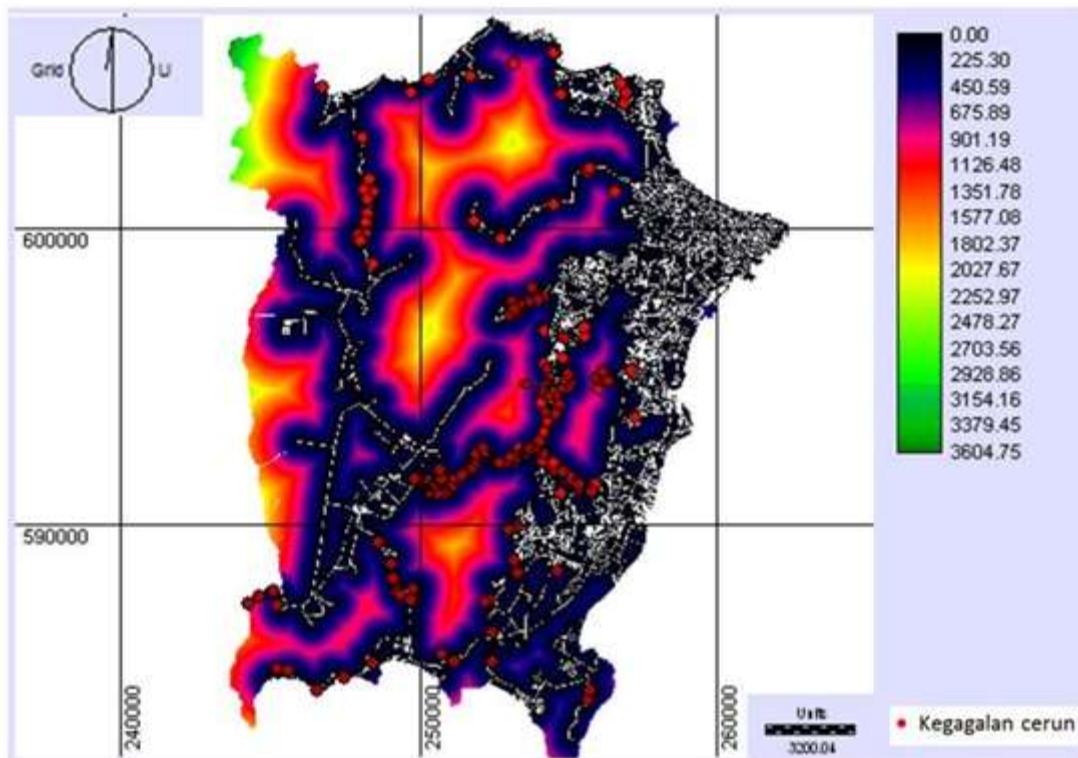


Rajah 3 Peta taburan kegagalan cerun mengikut siri tanih

Rajah 4 pula menunjukkan peta nisbah kekerapan bagi model ketinggian berdigit (ketinggian topografi). Kecerunan cerun adalah punca utama kegagalan cerun (Ayalew & Yamagishi, 2005). Rajah 5 pula menunjukkan peta nisbah kekerapan kegagalan cerun ke jalan raya, ia dapat menjelaskan bilangan kekerapan kejadian kegagalan cerun berdasarkan jarak yang berbeza. Lazimnya semakin dekat ke jalan semakin meningkat kejadian kegagalan cerun.

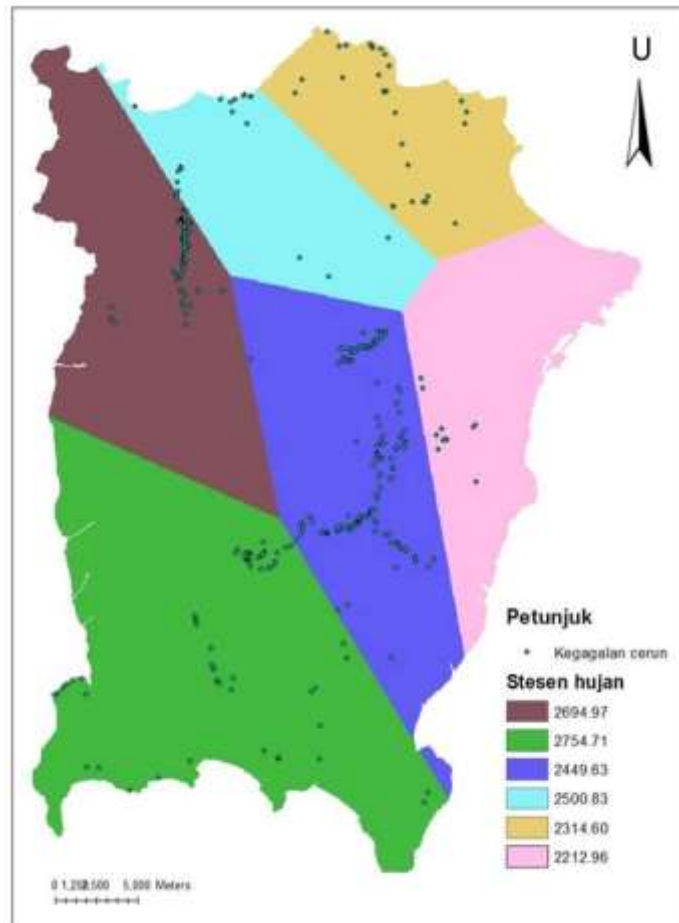


Rajah 4 Peta taburan kegagalan cerun berdasarkan ketinggian topografi



Rajah 5 Peta taburan kegagalan cerun ke jalan

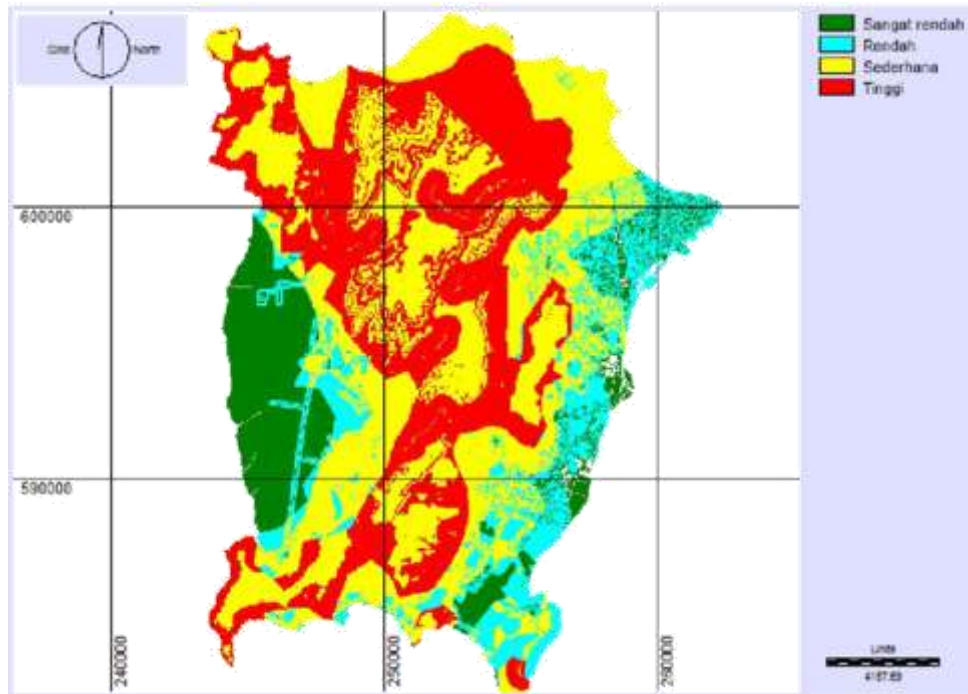
Peta taburan kegagalan cerun bagi purata hujan tahunan ditunjukkan dalam Rajah 6. Purata hujan tahunan ini dikira dari tahun 1980 sehingga tahun 2014, yang terdiri daripada enam stesen hujan antaranya stesen Kolam Air Bersih, stesen Kolam Takungan Air Itam, stesen Klinik Bukit Bendera, stesen Lorong Batu Lanchang, stesen Tali Air Besar dan stesen Pintu Air Bagan. Purata hujan tahunan bagi keenam-enam stesen menunjukkan nilai yang berbeza.



Rajah 6 Peta kegagalan cerun mengikut purata hujan tahunan

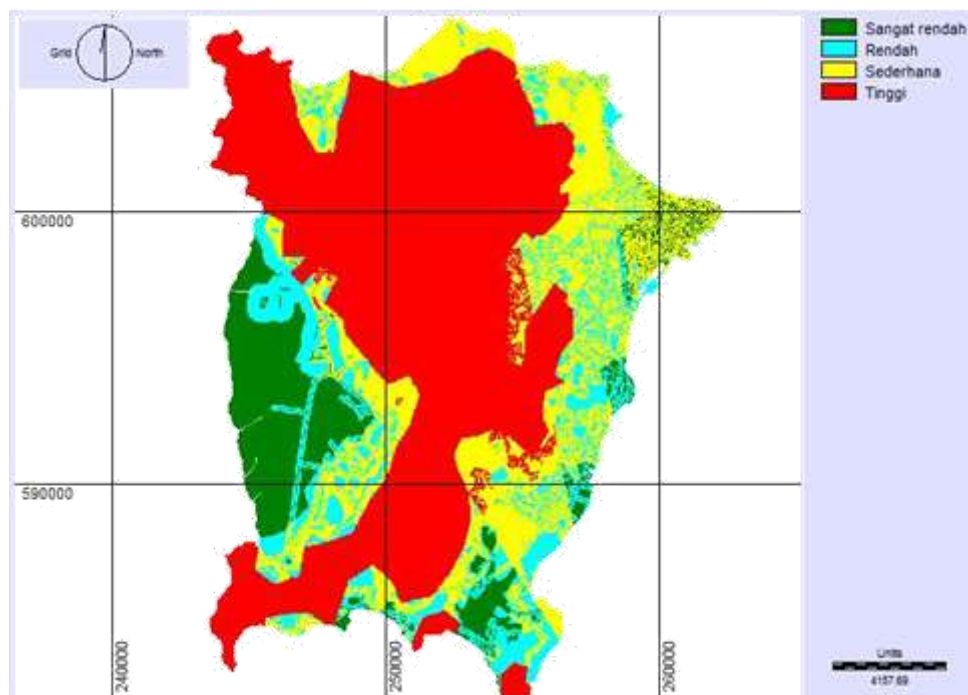
Ketepatan model dinilai berdasarkan 20 peratus data yang telah diasingkan bagi tujuan penilaian model. Penghasilan peta kerentanan kegagalan cerun berdasarkan jenis runtuh yang berbeza adalah mencapai ketepatan yang baik. Bagi peta kerentanan kegagalan cerun jenis batuan mencapai ketepatan 76.15 peratus. Peta kerentanan kegagalan cerun jenis tumbang mencapai ketepatan 61.54 peratus, bagi peta kerentanan kegagalan cerun gelongsoran pula adalah sebanyak 70 peratus, Seterusnya peta kerentanan kegagalan cerun aliran pula 78.46 peratus. Hal ini menunjukkan kesemua jenis model kerentanan kegagalan cerun berdasarkan jenis runtuh yang berbeza mempunyai peta kerentanan kegagalan cerun yang tersendiri (Rajah 7, Rajah 8, Rajah 9 dan Rajah 10).

Rajah 7 menunjukkan peta zon kebolehtahanan kegagalan cerun jenis tumbang. Kawasan berkemungkinan berlaku kegagalan cerun jenis tumbang yang paling tinggi adalah pada zon yang berwarna merah iaitu kawasan di bahagian Batu Feringghi, Paya Terubong, Teluk Bahang di Pulau Pinang, manakala bagi zon sederhana pula adalah di kawasan sebahagian dari Bukit Bendera, Air Itam dan Balik Pulau.



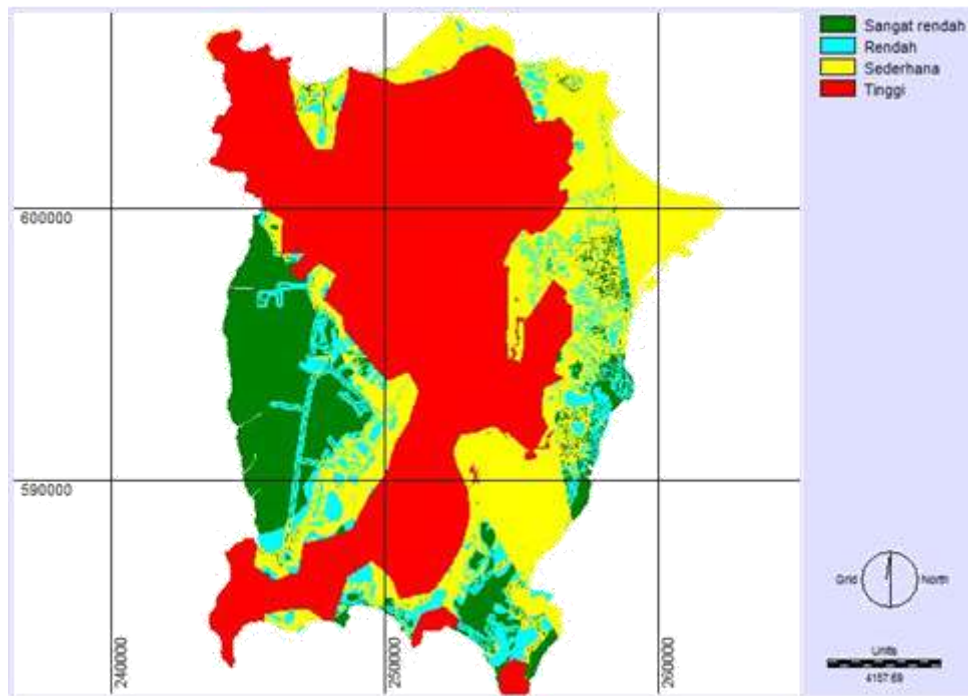
Rajah 7 Peta zon kebolehterapan kegagalan cerun jenis tumbang

Rajah 8 pula menunjukkan peta zon kebolehterapan kegagalan cerun jenis gelongsoran. Antara kawasan yang zon tinggi adalah di kawasan Bukit Bendera, Paya Terubong dan Balik Pulau. Bagi zon sederhana pula adalah berpotensi berlaku di sekitar Balik Pulau dan Batu Feringghi. Kebanyakan kegagalan cerun berlaku pada ketinggian 20-100 meter iaitu sebanyak 73.33 peratus.



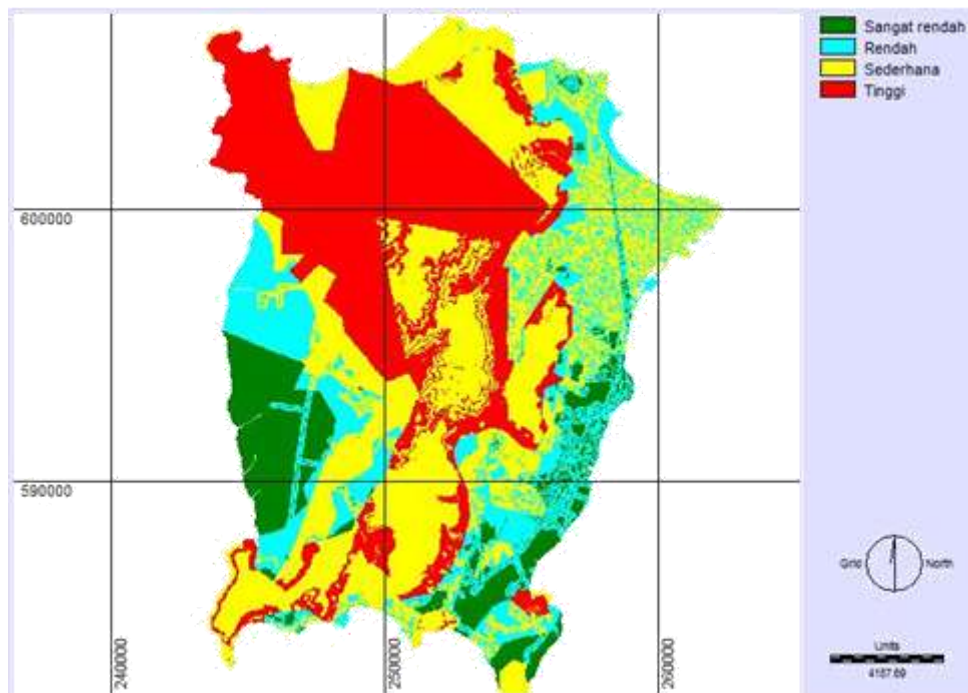
Rajah 8 Peta zon kebolehterapan kegagalan cerun jenis gelongsoran

Peta zon kebolehterapan kegagalan cerun jenis batuan seperti Rajah 9. Didapati zon kegagalan cerun yang paling tinggi adalah bagi runtuh jenis batuan ini adalah di kawasan Tanjung Bungah, Tanjung Tokong, Air Itam dan Bukit Gambir. Sebanyak 58.82 peratus kegagalan cerun berlaku pada ketinggian topografi 20-100 meter dan pada siri tanah jenis tanah curam sebanyak 75.55 peratus. Bagi zon sederhana pula adalah di kawasan Bukit Jambul, manakala zon sangat rendah adalah di kawasan landai iaitu Kampung Pantai Acheh, Kampung Kuala Sungai Pinang dan Kampung Nelayan.



Rajah 9 Peta zon kebolehtentanan kegagalan cerun jenis batuan

Rajah 10 menunjukkan peta zon kebolehtentanan kegagalan cerun jenis aliran. Kawasan berpotensi berlaku kegagalan cerun jenis aliran adalah di kawasan zon yang paling tinggi iaitu di kawasan Teluk Bahang dan Batu Feringghi. Hal ini kerana kegagalan cerun berpotensi berlaku di kawasan berkenaan berdasarkan lima pembolehubah yang digunakan, kawasan ini adalah lebih kepada kawasan yang menerima hujan yang banyak, jarak kegagalan cerun ke jalan lebih tinggi, iaitu lebih dominan dengan pemotongan cerun bagi tujuan pembinaan jalan. Zon sederhana bagi kegagalan cerun aliran adalah di kawasan Paya Terubong dan Balik Pulau.



Rajah 10 Peta zon kebolehtentanan kegagalan cerun jenis aliran

KESIMPULAN

Kajian ini telah menghasilkan model ruangan pelbagai jenis kegagalan cerun menggunakan kaedah nisbah kekerapan. Model ini mempunyai beberapa kelebihan, antaranya proses pengiraan adalah mudah difahami. Selain itu, jumlah data yang besar juga boleh diproses dalam GIS dengan cepat dan mudah. Hasil ketepatan model asal adalah baik, manakala penilaian model juga baik. Secara tidak langsung kajian ini dapat memberi maklumat mengenai tahap kepentingan sesuatu faktor dalam mempengaruhi kejadian berlakunya kegagalan cerun. Kelebihan kajian ini terletak kepada keupayaan memodelkan pelbagai jenis runtuh kegagalan cerun yang sebelum ini tidak pernah dilaksanakan dan tiada kajian yang mengambil kira jenis runtuh yang berbeza dalam pemodelan ruangan kegagalan cerun. Dengan terhasilnya model ini ramalan dan langkah-langkah pencegahan berlakunya kegagalan cerun yang lebih terperinci dapat dilaksanakan.

Analisis nisbah kekerapan ini menunjukkan lima pembolehubah iaitu jarak jalan ke kegagalan cerun, purata hujan tahunan, siri tanah, ketinggian topografi dan litologi. Pemetaan bahaya kegagalan cerun telah menunjukkan banyak kepentingan untuk pembangunan bandar yang sesuai. Keputusan dan penemuan kajian ini boleh membantu pemaju, perancang, dan jurutera untuk pengurusan cerun dan perancangan guna tanah. Ini adalah kerana analisis bergantung kepada faktor-faktor kegagalan cerun yang lain boleh dipertimbangkan. Oleh itu, model yang digunakan dalam kajian ini boleh diaplikasikan untuk tujuan perancangan dan penilaian umum.

RUJUKAN

- Abdul Samad, H., Shaharudin, I., Abdul Hadi, H.S. (2014). From first to second nature: Environmental changes in Malaysia. *Geografi*, 2(3), 1-11. Diperoleh daripada <https://ejournal.upsi.edu.my/GetFinalFile.ashx?file=7cb4824b-3c56-406d-8d3f-df67e89456dd.pdf>.
- Abdul Samad, H. (1990). Pembangunan dan perubahan alam sekitar: Satu tinjauan dari segi masa, in pembangunan dan alam sekitar di Malaysia: Isu dan pengurusannya. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Ahmad Fariz, M. (2014). Industrial development in Malaysia transition for sustainability. *Geografi*, 2(3), 24-36. Diperoleh daripada <https://ejournal.upsi.edu.my/GetFinalFile.ashx?file=4585dc18-183e-484e-8fac-5c6887023ed6.pdf>.
- Akgul, A., & Bulut, F. (2007). GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. *Environmental Geology*, 51(8), 1377–1387.
- Akgun, A., Dag, S., & Bulut, F. (2008). Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, 54(6), 1127–1143.
- Alimohammadlou, Y., Najafi, A., & Yalcin, A. (2013). Landslide process and impacts: Proposed classification method. *Catena*, 104, 219-232.
- Atkinson, P.M., & Massari, R. (1998). Generalized linear modeling of susceptibility to land sliding in the central Apennines, Italy. *Computer & Geosciences*, 24, 373–38.
- Ayalew, L., & Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65, 15–31.
- Bernama. (2011). Empat jam rebut Greg di Keningau, Sabah. <http://www.utusan.com.my/gaya-hidup/keluarga/empat-jam-ribut-greg-di-keningau-sabah-1.333992>. [Diakses 21.07.16]
- Bernama. (2009). Jalan utama ke Muzium Perang runtuh. Diperoleh daripada http://ww1.utusan.com.my/utusan/info.asp?y=2009&dt=1103&pub=Utusan_Malaysia&sec=Utara&pg=wu_04.htm. [21.07.2016]
- Bujang, B.K.H., Faisal, A., David, H. B., Harwant, S. & Husaini, O. (2008). *Landslide in Malaysia: Occurrences, assessment, analyses and remediation*. Serdang: Penerbit Universiti Putra Malaysia.
- Caniani, D., Pascale, S., Sdao, F. & Sole, A. (2007). Neural networks and landslide susceptibility: A case study of the urban area of Potenza. *Natural Hazards*, 45, 55–72.
- Carro, M., De, A., Luzi, M., & Marzorati, S. (2003). The application of predictive modeling techniques to landslides induced by earthquakes, the case study of the 26 September 1997 Umbria-Marche Earthquake (Italy). *Eng Geol.* 69, 139–159.
- Carter, B.G.F. (1994). *Geographic information systems for geoscientists, modeling with GIS*. Oxford: Pergamon Press, p.398.

- Chen, H., Lin, G.W., Lu, M. H., Shih, T.Y., Horng, M.J. & Wu, S.J. (2011). Effects of topography, lithology, rainfall and earthquake on landslide and sediment discharge in mountain catchments of Southeastern Taiwan. *Geomorphology*, 133, 132-142.
- Choi, J., Oh, H.J., Won, J.S., & Lee, S. (2010). Validation of an artificial neural network model for landslide susceptibility mapping. *Environmental Earth Sciences*, 60, 473-483.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., & Vescovi, P. (2002). A procedure for landslide susceptibility zonation: By the conditional analysis method. *Geomorphology*, 48, 349–36.
- Cruden, D.M., & Varnes, D.J. (1996). *Landslide types and processes, special report*. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247, 36-75.
- Dahal, R.K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Dhakal, S., & Paudyal, P. (2008). Predictive modelling of rainfall- induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weight of evidence. *Geomorphology*, 102, 496-510.
- Dai, F.C., & Lee, C.F. (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42(3), 213-228.
- Ercanoglu, M., & Gokceoglu, C. (2002). Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology*, 41, 720–730.
- Fatimah Shafinaz, A. (2005). *Penggunaan sistem maklumat geografi untuk meramal keruntuhan cerun di Pulau Pinang*. Tesis Ijazah Sarjana Kejuruteraan Awam Universiti Teknologi Malaysia. Tidak diterbitkan
- Gerrard, A.J. (1981). *Soil and landforms an integration of geomorphology and pedology*. Department of Geography, University of Birmingham.
- Goetz, J.N., Guthrie, R.H., & Brenning, A. (2011). Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models. *Geomorphology*, 129 (3-4), 376-386.
- Gokceoglu, C., Sonmez, H., & Ercaglu, M. (2000). Discontinuity controlled probabilistic slope failure risk maps of the Altindag (settlement) region in Turkey. *Engineering Geology*, 55, 227-296.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Landslide evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181–216.
- Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K.T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth Science Review*, 112, 42-66.
- Highland, L.M & Bobrowsky, P. (2008). *The landslide Handbook- A Guide to Understanding landslides*. Version 1.0. Geological Survey of Canada.
- Hong, H., Pourghasemi, H.R., & Pourtaghi, Z.S. (2016). Landslide susceptibility assessment in Lianhua Country (China): A comparison between a random forest data mining technique and bivariate and multivariate statistical model. *Geomorphology*, 259, 105-118.
- Ibrahim, I. (1989). Engenering Geology of Kuala Lumpur, Malaysia. *Proceeding International Conference of Engineering Geology in Tropica Terrain*, Kuala Lumpur, hlm. 262-273.
- Jabatan Perangkaan Malaysia. (2013). *Maklumat asas negeri Pulau Pinang 2013*. Putrajaya: Jabatan Perangkaan Malaysia
- Jabatan Kerja Raya. (2009). *National slope master plan 2009–2023*. Jabatan Kerja Raya, Malaysia, Kuala Lumpur.
- Kai, X., Qiang, G., Zhengwei, L., Jie, X., Yanshan, Q., & Chunfang, K. (2015). Landslide susceptibility evaluation based on BPNN and GIS: A case of Guojiaba in The Three Gorges Reservoir Area. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(7), 1111-1124.
- Kannan, M., Saranathan, E., & Anabalagan, R. (2013). Landslide vulnerability mapping using frequency ratio model: a geospatial approach in Bodi-Bodimettu Ghat section, Theni district, Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(8), 2901–2913.
- Kanungo, D. P., Arora, M. K., Sarkar, S., & Gupta, R.P. (2006). A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility Zonation in Darjeeling Himalayas. *Engineering Geology*, 85, 347–366.
- Knapen, A., Kitutu, M.G., Poesen, J., Breugelmans, W., Deckers, J., & Muwanga, A. (2006). Landslides in a densely populated county at the footslopes of Mount Elgon Uganda, Characteristics and causal factors. *Geomorphology*, 73(1-2), 149 -165.
- Lamelas, M.T., Marinoni, O., Hoppe, A., & Riva, J. (2008). Doline probability map using logistic regression and GIS technology in the central Ebro Basin (Spain). *Environmental Geology*, 54(5), 963–977.
- Lee, S. & Jasmi Abdul Talib. (2005). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental Geology*, 47, 982-990.

- Lee, S., & Pradhan, B. (2006). Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia. *Jurnal Earth Syst.Sci*, 115(6), 661-672.
- Lee, S., & Pradhan, B. (2007). Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4, 33-41.
- Lee, S., & Sambath, T. (2006). Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environmental Geology*, 50, 847-855.
- Oh, H.J., & Pradhan, B. (2011). Application of a neuro-fuzzy model to landslide susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Computer Geosciences*, 37, 1264-1276.
- Poudyal, C.P., Chang, C., Hyun-Jo, & Lee, S. (2010). Landslide Susceptibility Maps Comparing Frequency Ratio and Artificial Neural Networks: A case study from the Nepal Himalaya. *Environmental Earth Sciences*, 61, 1049-1064.
- Pradhan, B., Lee, S., & Buchroithner, M.F. (2009). Use of geospatial data for the development of fuzzy algebraic operators to landslide hazard mapping: A case study in Malaysia. *Applied Geomatics*, 1, 3-15.
- Rece, A., & Capolongo, D. (2002). Probabilistic modeling of uncertainties in earthquake-induced landslide hazard assessment. *Computer Geoscience*, 28, 735-749.
- Romeo, R. (2000). Seismically induced landslide displacements: a predictive model. *Engineering Geology*, 58, 337-351.
- Sharma, L.P., Patel, N., Ghose, M.K., & Debnath, P. (2013). Synergistic application of fuzzy logic and geo-informatics for landslide vulnerability zonation-a case study in Sikkim Himalayas, India. *Applied Geomatics*, 5, 271-284.
- Sinar Harian. (2013). Kronologi tragedi Highland Towers. <http://www.sinarharian.com.my/nasional/kronologi-tragedi-highland-towers-1.229212>. [Diakses pada 21.07.2016]
- Suzen, M.L., & Doyuran, V.A. (2004). Comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: Multivariate versus bivariate. *Environment Geology*, 45, 665-679.
- Taherynia, M.H., Mohammadi, M., & Ajalloelian, R. (2014). Assessment of slope instability and risk analysis of road cut slopes in Lashotor pass Iran. *Journal of Geological Research*, 1-12
- Tjia, H.D. (1987). *Geomorfologi*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Tunusluoglu, M.C., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A., & Sonmez, H. (2008). Extraction of potential debris source areas by logistic regression technique: a case study from Barla, Besparmak and Kapi mountains (NW Taurids, Turkey). *Environmental Geology*, 54(1), 9-22.
- Varnes, C.J. (1978). *Slope movement types and processes*. Washington D.C: National Academy of Sciences. 11-33.
- Yazid, S., Hanifah, M., Mohmadisa, H., Nasir, N. (2015). Kelestarian bandar kecil Wilayah Lembah Bernam dari perspektif kesejahteraan penduduk. *Geografi*, 3(2), 28-36. Diperoleh daripada <https://ejournal.upsi.edu.my/GetFinalFile.ashx?file=daa89061-a35e-40ee-be1c-0b26815144eb.pdf>.
- Yilmaz, I. (2007). GIS based susceptibility mapping of karst depression in gypsum: A case study Sivas basin (Turkey). *Engineering Geology*, 90(1-2), 89-103.
- Youssef, A.M., Pradhan, B., Gaber, A.F., & Buchroithner, M.F. (2009). Geomorphological hazard analysis along the Egyptian red sea coast between Safaga and Quseir. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 751-766.
- Zhou, G., Esaki, T., Mitani, Y., Xie, M., & Mori, J. (2003). Spatial probabilistic modeling of slope failure using an integrated GIS Monte Carlo simulation approach. *Engineering Geology*, 68, 373-386.