

**ANALISIS RUANG DAN MASA BAGI KAJIAN TANAH  
RUNTUH SEPANJANG LEBUHRAYA TIMUR BARAT**

**NAZIRAH BINTI AZIZAT**

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**2015**

**ANALISIS RUANG DAN MASA BAGI KAJIAN TANAH  
RUNTUH SEPANJANG LEBUHRAYA TIMUR BARAT**

**oleh**

**NAZIRAH BINTI AZIZAT**

**Tesis yang diserahkan untuk  
memenuhi keperluan bagi  
Sarjana**

**September 2015**

## **PENGHARGAAN**

Alhamdulillah bersyukur ke hadrat Ilahi atas limpah kurniaNya saya dapat menyiapkan tesis sarjana ini. Walaupun pelbagai cabaran dan dugaan yang dihadapi di sepanjang kajian ini dijalankan namun berkat kesabaran dan dorongan dari insan-insan yang sentiasa memberi galakan tidak mematahkan semangat saya untuk meneruskan kajian ini dengan jayanya.

Ribuan terima kasih yang tidak terhingga kepada Prof. Dr. Habibah bt. Hj. Lateh sebagai penyelia utama saya serta Dr. Lea Tien Tay dan Dr. Izham Mohamad Yusoff sebagai penyelia bersama kerana tanpa jemu memberi tunjuk ajar, teguran, dan nasihat yang sangat berguna di dalam kajian ini. Penghargaan ini juga ditujukan kepada semua pihak di Pusat Pengajian Pendidikan Jarak Jauh dengan memberi perkhidmatan dan kerjasama dalam menjayakan kajian ini.

Setinggi-tinggi penghargaan turut diucapkan kepada kedua ibu bapa saya iaitu Azizat bin Isa dan Sham bt. Shawal kerana sudi memahami keadaan saya semasa menjalankan kajian ini. Galakan dan kata-kata semangat dari suami tercinta iaitu Badrul Hisham b. Ali amat saya hargai. Akhir sekali, khas buat sahabat-sahabat seperjuangan, Siti Nursaila bt. Alias, Nurul Huda bt. Abd. Halim, Siti Syaida bt. Sirat yang sering berada bersama dalam keadaan susah dan senang serta memberi buah fikiran sentiasa saya ingati.

## SENARAI KANDUNGAN

	<b>Page</b>
<b>PENGHARGAAN</b> .....	ii
<b>SENARAI KANDUNGAN</b> .....	iii
<b>SENARAI JADUAL</b> .....	vii
<b>SENARAI RAJAH</b> .....	viii
<b>ABSTRAK</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>BAB 1 – PENGENALAN</b>	
1.1 Pengenalan kepada Kajian .....	1
1.2 Pernyataan Masalah .....	4
1.3 Objektif Kajian .....	6
1.4 Persoalan Kajian .....	7
1.5 Skop Kajian.....	7
1.6 Kawasan Kajian .....	7
1.7 Kepentingan Kajian .....	11
1.8 Rangka Kerja Konseptual Kajian .....	11
1.9 Rumusan .....	12
<b>BAB 2 – SOROTAN KAJIAN</b>	
2.1 Pendahuluan .....	14
2.2 Definisi Operasi.....	14
2.2.1 Tanah Runtuh.....	14
2.2.2 Konsep Bahaya Tanah Runtuh .....	16

2.3	Faktor-faktor Mempengaruhi Kejadian Tanah Runtuh .....	18
	2.3.1 Faktor Topografi .....	18
	2.3.2 Faktor Geologi .....	22
	2.3.3 Faktor Tekstur Tanah .....	23
	2.3.4 Faktor Hidrologi .....	25
	2.3.5 Faktor Vegetasi .....	26
	2.3.6 Hujan .....	27
2.4	Faktor Dominan dalam Kajian Tanah Runtuh .....	28
2.5	Pemetaan Zon Tanah Runtuh .....	28
2.6	Kaedah Penilaian Tanah Runtuh .....	29
	2.6.1 Kaedah Nisbah Frekuensi .....	31
	2.6.2 Kaedah Indeks Statistik .....	32
2.7	Analisis Masa .....	33
	2.7.1 Model Fizikal .....	35
	2.7.2 Kaedah Empirikal .....	35
2.8	Rumusan .....	37

### **BAB 3 – METODOLOGI**

3.1	Pendahuluan.....	38
3.2	Kerangka Konseptual Kajian.....	38
3.3	Penyediaan Data dalam Pemetaan Tanah Runtuh .....	39
	3.3.1 Peta Asas dan Lokasi Tanah Runtuh .....	39
	3.3.2 Peta Tekstur Tanah, Peta Litologi Batuan dan Peta Umur Batuan	44
	3.3.3 Peta Ketinggian, Kecuraman Kecerunan, Peta Aspek Cerun, Peta Lengkungan Cerun .....	55

3.3.4	Peta Jarak diantara Titik Tanah Runtuh dengan Sesar dan Saliran	72
3.3.5	Peta Taburan Hujan.....	79
3.3.6	Peta NDVI .....	80
3.4	Pemetaan Zon bahaya Tanah Runtuh .....	87
3.4.1	Nisbah Frekuensi .....	87
3.4.2	Indeks Statistik .....	88
3.4.3	Pengelasan Semula Indeks Bahaya Tanah Runtuh.....	89
3.5	Perbandingan Antara Kaedah .....	90
3.6	Analisis Sensitiviti .....	90
3.7	Analisis Masa .....	91
3.6.1	Hujan Anteseden Mutlak .....	91
3.6.2	Kala Kembali ( <i>Return Period</i> ) .....	93
3.6.3	Nilai Kritikal Berkaitan Tanah Runtuh .....	95
3.6.4	Intensiti Hujan Ternormal .....	96
3.8	Rumusan .....	96

#### **BAB 4 – KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN**

4.1	Pendahuluan .....	97
4.2	Analisis Ruangan .....	97
4.3	Pemetaan Zon Bahaya Tanah Runtuh Menggunakan Nisbah Frekuensi	97
4.4	Pemetaan Zon Bahaya Tanah Runtuh Menggunakan Indeks Statistik	106
4.5	Perbandingan Antara Kaedah .....	113
4.5.1	Ketepatan Analisis .....	113
4.5.2	Ketepatan Ujian .....	114
4.6	Analisis Sensitiviti Terhadap Faktor Kejadian Tanah Runtuh .....	115

4.7	Analisis Masa.....	128
	4.7.1 Data Hujan .....	129
	4.7.2 Hujan Anteseden Mutlak dan Kala Kembali .....	130
	4.7.3 Analisis Takat Ambang Hujan (Intensiti Tempoh).....	136
	4.7.4 Intensiti Hujan Ternormal .....	137
	4.7.5 Rumusan.....	138
 <b>BAB 5 – KESIMPULAN DAN CADANGAN .....</b>		<b>141</b>
5.1	Pendahuluan.....	141
5.2	Sumbangan dan Cadangan.....	143
 <b>SENARAI RUJUKAN .....</b>		<b>145</b>

## SENARAI JADUAL

		<b>Muka Surat</b>
Jadual 1.1	Kejadian Tanah Runtuh Yang Berlaku Di Malaysia	2
Jadual 2.1	Jenis Pergerakan Tanah Runtuh	15
Jadual 3.1	Jenis Litologi	45
Jadual 4.1	Nisbah Frekuensi Pada Setiap Faktor Kejadian Tanah Runtuh	98
Jadual 4.2	Indeks Statistik Pada Setiap Faktor Kejadian Tanah Runtuh	101
Jadual 4.3	Ketepatan Ramalan Bagi Nisbah Frekuensi dan Indeks Statistik	106
Jadual 4.4	Ketepatan Ujian Bagi Nisbah Frekuensi dan Indeks Statistik	108
Jadual 4.5	Analisis Sensitiviti Menggunakan Kombinasi Faktor Yang Berbeza	116
Jadual 4.6	Pembinaan semula hujan anteseden mutlak dari 1 hingga 15 hari dan kala kembali bagi 20 tahun bagi setiap peristiwa tanah runtuh di sepanjang Lebuhraya Gerik-Jeli (analisis hujan bagi ID01-ID13 menggunakan data hujan dari stesen Kuala Kenderong manakala ID14-ID20 menggunakan data hujan dari stesen Kg. Jeli. R: hujan(mm); R.P. : Kala Kembali (tahun). Kritikal jumlah hujan-tempoh telah dihitamkan.	132



## SENARAI RAJAH

		<b>Muka Surat</b>
Rajah 1.1	Peta Lokasi Lebuhraya Timur Barat (Gerik-Jeli)	10
Rajah 1.2	Rangka Kerja Konseptual Kajian	13
Rajah 2.1	Lengkungan Plan	20
Rajah 2.2	Lengkungan Profil	21
Rajah 2.3	Carta Analisis Tekstur Tanah USDA	25
Rajah 3.1	Peta Asas dan Lokasi Tanah Runtuh	41
Rajah 3.2	Peta Tekstur Tanah	46
Rajah 3.3	Peta Litologi Batuan	49
Rajah 3.4	Peta Umur Batuan	52
Rajah 3.5	Carta Aliran Penghasilan Peta Kecuraman Cerun, Aspek Cerun dan Lengkungan Profil dan Mendatar	55
Rajah 3.6	Peta Ketinggian	57
Rajah 3.7	Peta Kecuraman Cerun	60
Rajah 3.8	Peta Aspek Cerun	63
Rajah 3.9	Peta Kelengkungan Plan	66
Rajah 3.10	Peta Kelengkungan Profil	69
Rajah 3.11	Penghasilan Peta Sesar dan Sungai	72
Rajah 3.12	Peta Jarak Lokasi Tanah Runtuh dari Sesar	73
Rajah 3.13	Peta Jarak Lokasi Tanah Runtuh dari Saliran	76
Rajah 3.14	Carta Aliran Penghasilan Peta Purata Hujan Tahunan	79
Rajah 3.15	Peta Taburan Hujan	81
Rajah 3.16	Peta NDVI	84
Rajah 4.1	Probabiliti Tanah Runtuh dan Pengelasan Zon	101
Rajah 4.2	Peta Bahaya Tanah Runtuh Menggunakan Kaedah Nisbah	

	Frekuensi	103
Rajah 4.3	Probabiliti Tanah Runtuh dan Pengelasan Zon	109
Rajah 4.4	Peta Bahaya Tanah Runtuh Menggunakan Kaedah Indeks Statistik	110
Rajah 4.5	Peratusan Tanah Runtuh dan Nisbah Frekuensi Mengikut Jenis Litologi	118
Rajah 4.6	Peratusan Tanah Runtuh dan Nisbah Frekuensi Mengikut Jenis Kelengkungan Menegak	119
Rajah 4.7	Peratusan Tanah Runtuh dan Nisbah Frekuensi Mengikut Jarak Dari Saliran	120
Rajah 4.8	Peratusan Tanah Runtuh dan Nisbah Frekuensi Mengikut Nilai NDVI	121
Rajah 4.9	Peratusan Tanah Runtuh dan Nisbah Frekuensi Mengikut Jarak Dari Sesar	122
Rajah 4.10	Peratusan Tanah Runtuh dan Nisbah Frekuensi Mengikut Jenis Kelengkungan Mendatar	123
Rajah 4.11	Peratusan Tanah Runtuh dan Nisbah Frekuensi Mengikut Jumlah Hujan Tahunan	124
Rajah 4.12	Peratusan Tanah Runtuh dan Nisbah Frekuensi Mengikut Umur Batuan	124
Rajah 4.13	Peratusan Tanah Runtuh dan Nisbah Frekuensi Mengikut Tekstur Tanah	125
Rajah 4.14	Peratusan Tanah Runtuh dan Nisbah Frekuensi Mengikut Ketinggian Topografi	126
Rajah 4.15	Peratusan Tanah Runtuh dan Nisbah Frekuensi Mengikut Aspek Cerun	127

Rajah 4.16	Peratusan Tanah Runtuh dan Nisbah Frekuensi Mengikut Kecuraman Cerun	128
Rajah 4.17	Purata Hujan Tahunan Bagi Tiga Stesen iaitu Kuala Kenderong, Air Banun dan Kg. Jeli	129
Rajah 4.18	Graf $-\ln[-\ln C(U)]$ terhadap hujan maksimum tahunan dalam 1 hari (a), 2 hari (b), 3 hari (c), 5 hari (d), 10 hari (e), dan 15 hari (f) bagi Stesen Kuala Kenderong dari tahun 1980-2009	134
Rajah 4.19	Graf $-\ln[-\ln C(U)]$ terhadap hujan maksimum tahunan dalam 1 hari (a), 2 hari (b), 3 hari (c), 5 hari (d), 10 hari (e), dan 15 hari (f) bagi Stesen Kg. Jeli dari tahun 1980-2009 (kecuali tahun 2001, 2002, 2003)	135
Rajah 4.20	Kritikal Intensiti Hujan Terhadap Tempoh Hujan Bagi Stesen Air Kenderong (a) Dan Kg. Jeli (b)	139
Rajah 4.21	Takat Ambang Hujan Bagi Intensiti Hujan Ternormal-Tempoh Untuk Stesen Kuala Kenderong (a) dan stesen Kg. Jeli (b)	140

# ANALISIS RUANG DAN MASA BAGI KAJIAN TANAH RUNTUH SEPANJANG LEBUHRAYA TIMUR BARAT

## ABSTRAK

Kejadian tanah runtuh yang berlaku di tepi jalan dan lebuh raya telah menyebabkan gangguan aliran trafik yang teruk serta kerosakan harta benda dan kehilangan nyawa. Oleh itu, penilaian kejadian tanah runtuh perlu dijalankan melalui analisis secara ruangan dan masa. Kajian ini adalah bertujuan untuk menghasilkan peta bahaya tanah runtuh di sepanjang Lebuh raya Timur Barat (Gerik-Jeli) menggunakan kaedah nisbah frekuensi dan indeks statistik. Data ruangan yang penting seperti geologi, hujan, kecuraman cerun, tekstur tanah, saluran, kelengkungan profil, kelengkungan mendatar, NDVI, garis sesar, ketinggian, umur batuan, dan aspek cerun digunakan dalam menghasilkan peta bahaya tanah runtuh. Perbandingan diantara dua kaedah ini disahkan menggunakan analisis sensitiviti. Dapatan daripada kajian menunjukkan bahawa nisbah frekuensi adalah lebih jitu daripada indeks statistik dan boleh digunakan sebagai cara yang mudah dalam penilai tanah runtuh bagi pemetaan tanah runtuh. Litologi dan kelengkungan profil pula adalah faktor yang paling dominan di dalam mempengaruhi kejadian tanah runtuh. Selain itu, kajian ini juga membincangkan analisis masa dalam kajian tanah runtuh di kawasan kajian. Analisis masa menggunakan data hujan yang mencetuskan kejadian tanah runtuh dengan menentukan takat ambang hujan menggunakan data hujan harian dari Stesen Kuala Kenderong dan Stesen Kg. Jeli. Persamaan dalam analisis regresi pada hujan yang mencetuskan tanah runtuh di kawasan kajian adalah  $Ri = 3.8503D^{0.4753}$  bagi Stesen Kuala Kenderong and  $Ri = 40.49D^{0.36787}$  bagi Stesen Kg. Jeli dimana  $Ri$  adalah intensiti hujan (mm/hari) manakala  $D$  adalah tempoh hujan dalam bilangan hari.

# SPATIAL AND TEMPORAL ANALYSIS OF LANDSLIDE ALONG EAST WEST HIGHWAY

## ABSTRACT

Landslide that occurred on the roadside and highways has caused a severe traffic disruption and properties damage and also loss of life. Therefore, landslide assessment should be carried out through the analysis of spatial and temporal. The purpose of this study is to produce a landslide hazard mapping along East-West Highway using frequency ratio and statistical index methods. The essential spatial data such as geology, rainfall, slope angle, soil texture, stream, profile curvature, plan curvature, NDVI, fault line, elevation, age of rock and slope aspect were used in producing of landslide hazard map. The comparisons for these two methods were verified using sensitivity analysis. The results obtained from this study showed that frequency ratio have a higher accuracy rather than statistical index and can be used as a simple tool in landslide assessment of landslide hazard mapping. Lithology and profile curvature are the most dominant factor in influencing of landslide. In addition, this study also discussed of temporal analysis of landslide in study area. Rainfall data that triggered of landslide have been used to determine rainfall thresholds using daily rainfall data from Station Kuala Kenderong and Sation Kg. Jeli. The regression equation for rainfall triggered landslides in the study area is  $Ri = 3.8503D^{0.4753}$  for Stesen Kuala Kenderong and  $Ri = 40.49D^{0.36787}$  for Station Kg. Jeli where Ri is the intensity of rain (mm / day), while D is the period in the number rainfall in days.

## **BAB 1**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 Pengenalan kepada Kajian**

Kejadian tanah runtuh merupakan fenomena bencana alam yang memberikan impak yang besar terhadap sosio-ekonomi penduduk di sesebuah negara. Kos kerugian sama ada secara langsung atau tidak langsung akibat kejadian tersebut terpaksa ditanggung oleh pihak kerajaan atau pihak persendirian jika berlaku sebarang kerosakan harta benda. Malahan, kejadian tanah runtuh juga boleh membawa kepada kematian sekiranya berlaku di kawasan perumahan dan jalan raya dalam skala yang besar. Menurut Lee dan Pradhan (2007), tanah runtuh telah menyebabkan seribu kematian setiap tahun di Amerika Syarikat dengan kos kerugian harta benda sebanyak USD 4 billion.

Pembangunan yang semakin pesat menyebabkan pembukaan kawasan tanah tinggi dijalankan untuk menampung populasi yang semakin bertambah. Penebangan hutan serta pemotongan dan tambakan banyak dijalankan pada cerun semulajadi untuk pembinaan jalan dan perumahan. Kebanyakan kejadian tanah runtuh sering berlaku di kawasan potongan cerun atau tambakan yang dibuat di sepanjang jalan serta di kediaman yang terletak di kawasan tanah tinggi (Lee dan Pradhan, 2006; dan Pradhan dan Youssef, 2010).

Di Malaysia, tanah runtuh merupakan ancaman bencana alam yang kedua terbesar selepas banjir (Matori *et al.*, 2011). Dalam inventori tanah runtuh yang

dikumpul semasa kajian pelan induk oleh Jabatan Kerja Raya (JKR) mendapati bahawa terdapat 440 kejadian tanah runtuh yang berlaku di seluruh Malaysia dari tahun 1973 sehingga 2007 melibatkan kerugian ekonomi kira-kira RM 3.0 billion dengan jumlah kematian melebihi 600 orang (JKR, 2009). Jadual 1.1 menunjukkan beberapa kejadian tanah runtuh yang berlaku di Malaysia dari tahun 1993 sehingga tahun 2014.

Jadual 1.1 : Kejadian tanah runtuh yang berlaku di Malaysia

Bil.	Tarikh	Lokasi	Kematian	Kecederaan	Kesan
1	24.10.1993	KM 58, Kuala Lipis - Gua Musang	1	15	Tiada rekod
2	28.11.1993	KM 63, Kuala Lumpur - Karak Highway	2	-	Tiada rekod
3	11.12.1993	Highland Towers	48	2	Ratusan penduduk kehilangan tempat tinggal
4	31.12.1993	KM 59.5, Lebuhraya Timur - Barat	1	3	Sebuah kereta musnah dan jalan ditutup selama satu hari
5	30.06.1995	Genting Sempah, KL - Karak Highway	20	22	10 kenderaan musnah
6	06.01.1996	KM 303.8 PLUS Highway, Gua Tempurung, Ipoh	1	1	Jalan ditutup selama dua minggu dan tiga bulan untuk peralihan jalan
7	02.09.1996	Pos Dipang	44	10	Seluruh kampung dipindahkan
8	09.10.1996	Kuala Terla, Cameron Highlands	3	2	Beberapa buah rumah musnah
9	25.12.1997	KM 17, Lebuhraya Ampang-Hulu Kelang	3		
10	18.10.1996	Pantai dalam, Kuala Lumpur	1	4	19 buah keluarga dipindahkan
11	28.11.1998	Paya Terubong, Pulau Pinang	0	0	17 buah kenderaan tertimbus
12	08.02.1999	Kg. Gelam, Sandakan, Sabah	17	0	Beberapa buah rumah dipindahkan
13	15.05.1999	Bukit Antarabangsa, Selangor	0	0	1, 000 penduduk dipindahkan dan 15, 000 terkandas.
14	28.11.1999	Bukit Aman, Pahang	0	0	15 kereta , sebuah bas dan sebuah motosikal musnah
15	03.12.1999	KM 449.6 Lebuhraya Utara-Selatan Sg. Buloh, Selangor	0	0	Ribuan kenderaan terkandas. Jalan

					ditutup selama sehari.
16	09.01.2000	Km 81.6, Jalan Brinchang, Tanah Rata, Cameron highlands	6	0	15, 000 pengguna jalan raya terkandas sehingga beberapa jam
17	27.12.2001	Kg. Sri gunung Pulai, Pontian Johor	15	2	Sebuah rumah musnah
18	28.01.2002	Ruan Changkul, Sarawak	16	0	Sebuah rumah panjang dipindahkan
19	20.11.2002	Taman Hillview, Selangor	8	5	Sebuah banglo musnah
20	26.11.2003	KM 21.8 , NKVE , Bukit Lanjan	-		
21	29.11.2004	KM 59, Kuala Lipis, Merapoh	4		
22	26.06.2006	KM8.5, FT 606, Pelabuhan Sepanggar, Kota Kinabalu, Sabah	1		
23	21.05.2011	Rumah Anak Yatim Al-Taqwa, Hulu Langat, Selangor	16		
24	07.08.2011	Perkampungan Orang Asli, Sg. Ruil, Cameron Highlands	7		Beberapa buah rumah musnah
25	26.12.2012	Kilometer 139, Jerangau-Jabor			Enam kereta tertimbus
26	28.12.2012	Taman Puncak Setiawangsa			Sebuah banglo musnah dan puluhan penduduk dipindahkan
27	06.05.2013	Jalan Ampang			9 kenderaan musnah
28	03.07.2013	Ukay Perdana	3	1	Kawasan pembinaan
29	07.01.2014	Jalan Mahameru			Trafik terputus ke Jalan Kuching & PWTC

Sumber: Shu et al. (1981), Chow (1981), Chow (1984), Tajul Annuar Jamaluddin *et al.* (2003), Arkib akbar digital di tapak web [www.emedia.com.my](http://www.emedia.com.my) dan News Straits Times (2002) dalam Lim (2004)

Berdasarkan Jadual 1.1. mendapati bahawa penilaian adalah diperlukan dalam menentukan kawasan-kawasan yang mempunyai potensi berlakunya tanah runtuh melalui kaedah ruangan dan masa serta mengenalpasti faktor-faktor yang menyebabkan kejadian tersebut berlaku (Nagarajan *et al.*, 1998). Ramalan ruangan penting dalam menentukan kawasan-kawasan yang terdedah dengan bahaya tanah



runtuh dengan menggunakan data terdahulu seperti keadaan muka bumi, ciri-ciri geologi dan aktiviti manusia yang membawa kepada kejadian tanah runtuh (Brenning, 2005). Penganggaran bahaya tanah runtuh merupakan satu proses yang kompleks kerana memerlukan pelbagai teknik dan kaedah serta kepakaran pihak tertentu dalam penilaian bahaya tanah runtuh bagi mendapatkan faktor-faktor yang menyumbang kepada kejadian tersebut dan pemetaan kawasan yang berpotensi untuk berlakunya tanah runtuh.

Analisis masa juga adalah diperlukan agar dapat membantu pihak berkuasa tempatan untuk berwaspada dan memberikan amaran awal kepada orang awam jika kemungkinan berlaku kejadian tanah runtuh. Jika masa berlaku tanah runtuh di kawasan-kawasan yang berpotensi berlaku tanah runtuh dapat dianggarkan, nyawa orang awam dan kemusnahan harta benda dapat diselamatkan.

## **1.2 Pernyataan Masalah**

Jalanraya merupakan jenis sistem pengangkutan yang utama di Malaysia dan 30 peratus daripada jalan tersebut dibina merentasi kawasan tanah tinggi (Suhaimi *et al.*, 2006). Sejak dua abad kebelakangan ini, kejadian tanah runtuh di tepi jalan atau lebuhraya di Malaysia semakin meningkat, melibatkan cerun potongan dan cerun tambakan di kawasan yang berbukit (Mezughhi *et al.*, 2011). Impak daripada kejadian tanah runtuh tersebut telah menyebabkan gangguan aliran trafik yang teruk serta kerosakan harta benda malah kehilangan nyawa.

Kejadian tanah runtuh di Lebuhraya Timur Barat (Gerik-Jeli) sering berlaku pada musim hujan sehingga pihak kerajaan perlu menanggung jutaan ringgit untuk

kerja-kerja pembaikan cerun apabila kejadian tersebut berlaku. Menurut Jabatan Kerja Raya Pengkalan Hulu pada tahun 2010, kos penyelenggaraan untuk 20 cerun yang mengalami runtuh mencecah sehingga RM 20 juta dengan satu kematian yang dicatatkan iaitu pada tahun 1993. Walaubagaimanapun, kejadian tanah runtuh yang berlaku di lereng-lereng cerun bukit terutamanya pada musim hujan bukan sahaja sangat berbahaya kepada para pengguna jalan raya malah menyebabkan gangguan perjalanan dari utara Semenanjung Malaysia ke bahagian pantai timur Semenanjung Malaysia.

Pemetaan kawasan tanah runtuh adalah sangat penting bagi mendapatkan kawasan-kawasan yang berpotensi untuk berlakunya runtuh pada cerun. Maklumat yang terdapat di dalam peta tersebut adalah merangkumi faktor-faktor yang relevan dalam ramalan kejadian tanah runtuh seperti kecuraman cerun, geologi, tanah, hidrologi dan geomorfologi (van Westen *et al.*, 2008). Faktor-faktor yang mempengaruhi kejadian tanah runtuh yang pernah berlaku adalah penting dalam meramal kejadian tersebut untuk berlaku pada masa akan datang.

Penggunaan GIS telah digunakan secara meluas di dalam pemetaan tanah runtuh dengan menggunakan kaedah yang berbeza untuk meramal kawasan-kawasan yang berpotensi untuk berlakunya tanah runtuh. Secara amnya, terdapat dua kaedah yang digunakan dalam pemetaan tanah runtuh iaitu menggunakan kaedah kualitatif dan kuantitatif (Aleotti dan Chowdhury, 1999; Hervas dan Bobrowsky, 2009). Walaubagaimanapun, setiap kaedah yang dipilih adalah penting dalam ketepatan dan kebolehpercayaan dalam menentukan kawasan yang berpotensi untuk berlakunya tanah runtuh.

Dalam penilaian tanah runtuh, anggaran masa berlaku kejadian tanah runtuh juga untuk adalah penting. Sehubungan itu, takat ambang hujan dibentuk daripada analisis intensiti, tempoh dan jumlah kumulatif hujan semasa berlakunya tanah runtuh (Zêzere *et al.*, 2004; Marques *et al.*, 2008). Hasil daripada analisis tersebut, kebarangkalian berlakunya tanah runtuh dapat ditentukan apabila jumlah hujan melebihi takat ambang hujan. Walaubagaimanapun, banyak kajian mengenai pembentukan model ruangan tanah runtuh dijalankan tetapi kurang kajian dalam menganggar kebarangkalian tanah runtuh secara masa. Kekurangan rekod mengenai maklumat dalam data kejadian tanah runtuh seperti tarikh kejadian data lokasi kejadian menyebabkan kesukaran dalam menentukan masa berlakunya kejadian tanah runtuh.

### **1.3 Objektif Kajian**

Secara amnya, kajian ini akan menghasilkan peta zon bahaya tanah runtuh di sepanjang Lebuhraya Timur-Barat (Gerik-Jeli) dengan menggunakan GIS serta ramalan masa tanah runtuh berlaku.

Objektif Spesifik:

- 1) Menganalisis zon bahaya tanah runtuh di sepanjang Lebuhraya Gerik-Jeli.
- 2) Membincangkan faktor-faktor yang dominan dalam mempengaruhi kejadian tanah runtuh.
- 3) Membezakan kaedah yang tinggi nilai ketepatan ramalan dalam menentukan kawasan yang berpotensi untuk berlakunya tanah runtuh.
- 4) Menentukan nilai takat ambang hujan dalam kejadian tanah runtuh.

#### **1.4 Persoalan Kajian**

- Apakah tahap zon bahaya di sepanjang Lebuhraya Gerik-Jeli?
- Apakah faktor-faktor yang mempengaruhi kejadian tanah runtuh di kawasan kajian?
- Apakah terdapat perbezaan nilai ketepatan dalam peta zon bahaya tanah runtuh antara kaedah nisbah frekuensi dan indeks statistik?
- Berapakah nilai takat ambang hujan yang mencetuskan kejadian tanah runtuh?

#### **1.5 Skop Kajian**

Skop kawasan kajian ini adalah di sepanjang Lebuhraya Timur-Barat (Gerik-Jeli) yang melibatkan cerun di bahagian kiri dan kanan sepanjang laluan. Kajian dijalankan terhadap cerun tambakan dan cerun potongan di kedua-dua bahagian kiri dan kanan jalan. Perwakilan tanah runtuh adalah diwakili dalam bentuk titik. Halaju dan saiz setiap tanah runtuh yang berlaku tidak diambilkira di dalam kajian ini. Selain itu, analisis ruangan juga tidak dijalankan mengikut jenis tanah.

#### **1.6 Kawasan Kajian**

Lebuhraya Timur-Barat merupakan laluan utama yang menghubungkan bahagian barat dengan bahagian timur di utara Semenanjung Malaysia dan merentasi Tasik Temenggor. Lebuhraya ini merentasi kawasan bentuk muka bumi yang berbukit-bukau dan dilitupi oleh hutan hujan tropika. Pembinaan lebuhraya ini bermula pada tahun 1973 dan siap pada tahun 1979 yang menelan kos sebanyak £74 juta dan mula dibuka pada tahun 1979 (Lloyd *et al.*, 2001). Pembinaan dan

penyelenggaraan laluan ini dijalankan oleh Jabatan Kerja Raya (JKR) Malaysia yang melibatkan JKR Daerah Hulu Perak bagi kawasan negeri Perak dan JKR Jajahan Jeli bagi kawasan negeri Kelantan.

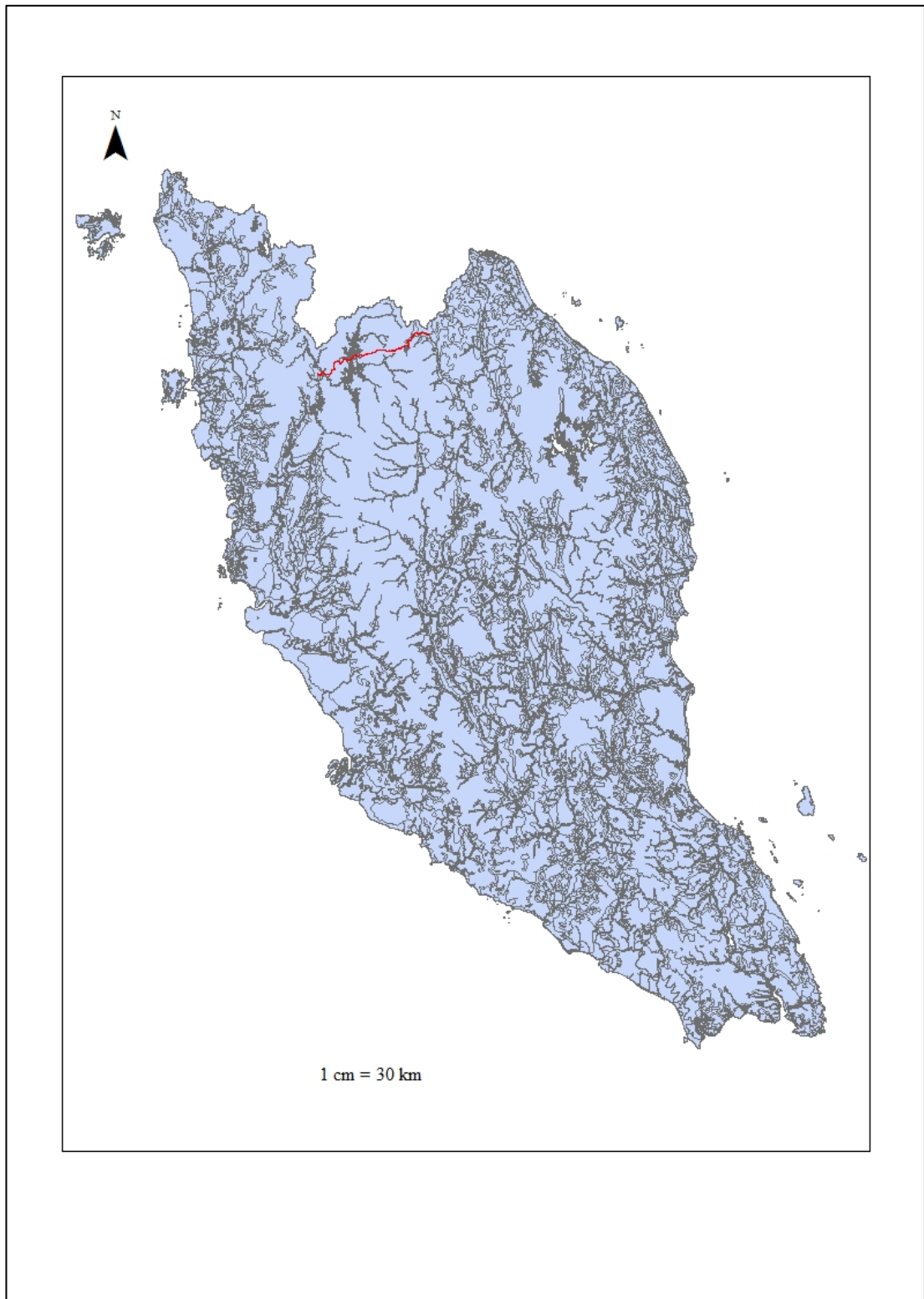
Kajian ini dijalankan di sepanjang 120 km Lebuhraya Timur-Barat yang bermula di daerah Gerik, Perak sehingga daerah Jeli, Kelantan iaitu dari koordinat U  $05^{\circ} 27' 32.0''$  T  $101^{\circ} 07' 42.3''$  sehingga U  $5^{\circ} 42' 11.15''$  T  $101^{\circ} 49' 54.74''$  (Rajah 1.1). Jaringan pengangkutan ini penting bagi menghubungkan penduduk di utara semenanjung dengan negeri-negeri di bahagian pantai timur. Purata jumlah kenderaan yang melalui Lebuhraya Timur-Barat ini adalah sebanyak 5292 buah kenderaan sehari (JKR, 2008). Lokasi tanah runtuh yang pernah berlaku di kawasan kajian diperolehi daripada Jabatan Kerja Raya (JKR) Pengkalan Hulu dari tahun 2007 sehingga 2012 dan seterusnya kerja lapangan dijalankan untuk mengenalpasti koordinat setiap lokasi tersebut menggunakan GPS.

Kerja-kerja pembinaan dan pelebaran jalan di sepanjang cerun yang curam di kawasan kajian merupakan faktor utama dalam ketidakstabilan cerun di kawasan tersebut. Jumlah hujan yang tinggi dan berlarutan juga membawa kepada beberapa jenis tanah runtuh seperti gelongsoran batuan, kemerosotan batuan, jatuhan batuan, aliran baji, aliran tanah dan gelongsoran tanah (Mezughli *et al.*, 2011).

Kejadian tanah runtuh yang berlaku di sepanjang lebuhraya ini mengakibatkan gangguan perjalanan serta berisiko kepada pengguna jalan raya. Jumlah kos penyelenggaraan jalan yang disebabkan tanah runtuh juga adalah tinggi iaitu dianggarkan sebanyak RM 200 ribu bagi setiap cerun yang mengalami

runtuhan. Oleh itu, laluan ini dipilih untuk dijadikan kawasan kajian berdasarkan beberapa kriteria seperti berikut:

- i) Penilaian tanah runtuh diperlukan untuk mendapatkan kawasan yang berisiko untuk berlaku tanah runtuh serta faktor-faktor yang menyebabkan kejadian tersebut itu berlaku.
- ii) Rekod tanah runtuh yang lengkap yang merangkumi lokasi tanah runtuh yang berlaku di sepanjang laluan serta tarikh tanah runtuh itu berlaku.



Rajah 1.1: Peta Lokasi Lebuhraya Timur Barat (Gerik-Jeli)

## **1.7 Kepentingan kajian**

Kajian ini adalah penting dalam memberikan maklumat kepada pihak bertanggungjawab seperti Jabatan Kerja Raya (JKR) akan tahap bahaya tanah runtuh di sepanjang laluan Lebuhraya Gerik-Jeli berdasarkan pemetaan bahaya tanah runtuh di kawasan tersebut. Malah, kawasan-kawasan yang berisiko untuk berlakunya tanah runtuh dapat dikenalpasti dan penyelenggaraan cerun wajar dijalankan bagi mengurangkan impak tanah runtuh ke atas kawasan tersebut. Makluman serta amaran pada papan-papan tanda di lokasi yang mempunyai tahap bahaya yang tinggi turut membantu para pengguna agar berwaspada ketika melalui kawasan tersebut terutamanya pada musim hujan.

Selain itu, analisis masa adalah penting di dalam menentukan kebarangkalian berlakunya tanah runtuh dalam sesuatu tempoh masa. Jumlah hujan yang tinggi dan melebihi takat ambang hujan dapat memberikan amaran kepada pihak bertanggungjawab agar memberi perhatian dan tinjauan yang lebih kerap ke kawasan-kawasan yang berpotensi berlakunya tanah runtuh.

## **1.8 Kerangka Kerja Konseptual Kajian**

Rajah 1.2 menunjukkan rangka kerja konseptual kajian dalam analisis ruangan dan masa bagi kajian tanah runtuh di sepanjang Lebuhraya Timur-Barat (Gerik-Jeli). Faktor-faktor yang mempengaruhi kejadian tanah runtuh seperti morfologi, geologi, jenis tanah, hidrologi dan geomorfologi dijadikan sebagai parameter di dalam analisis ruangan. Faktor yang paling dominan di dalam mempengaruhi kejadian tanah runtuh dapat dikenalpasti dengan menggunakan kaedah sensitiviti. Perbandingan antara dua kaedah yang diaplikasikan di dalam

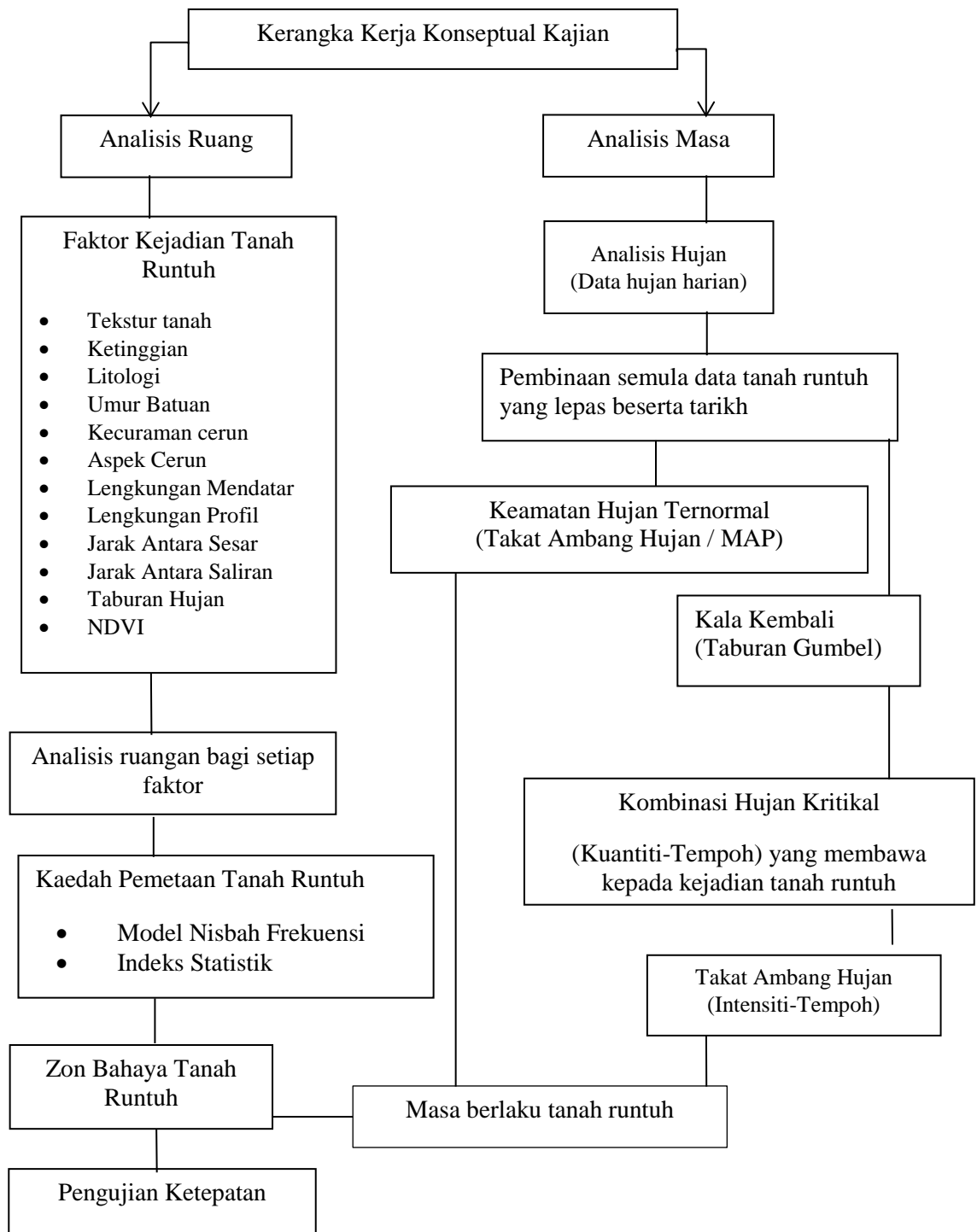


pemetaan zon bahaya tanah runtuh adalah bertujuan untuk mendapatkan kaedah yang paling sesuai digunakan dalam penghasilan peta yang lebih tepat.

Ramalan masa adalah penting dalam menentukan masa berlakunya tanah runtuh atau kebarangkalian berlakunya tanah runtuh pada sesuatu masa. Analisis masa untuk kejadian tanah runtuh berlaku menggunakan perhubungan diantara faktor pencetus iaitu hujan dan kejadian tanah runtuh yang pernah berlaku pada sesuatu kawasan berdasarkan hujan anteseden, tempoh hujan, intensiti hujan, purata hujan tahunan (*MAP-Mean Annual Precipitation*) dan hujan kumulatif bagi mendapatkan takat ambang hujan di kawasan kajian.

## **1.9 Rumusan**

Kejadian tanah runtuh yang berlaku memberikan impak terhadap persekitaran dan manusia. Dalam kajian ini, peta bahaya tanah runtuh dihasilkan dalam menentukan kawasan yang berisiko dalam kejadian tanah runtuh di sepanjang Lebuhraya Timur-Barat (Gerik-Jeli). Selain mendapatkan faktor yang mempengaruhi kejadian tersebut, analisis pemetaan bahaya tanah runtuh ini adalah menggunakan Model Nisbah Frekuensi dan Indeks Statistik. Dalam ramalan masa berlakunya tanah runtuh, analisis perkaitan air hujan dengan tarikh kejadian tanah runtuh dijalankan bagi mendapatkan takat ambang hujan yang menyebabkan berlakunya kejadian tersebut.



Rajah 1.2: Kerangka Kerja Konseptual Kajian

## **BAB 2**

### **SOROTAN KAJIAN**

#### **2.1 Pendahuluan**

Bab ini membincangkan berkenaan kejadian tanah runtuh serta kaedah-kaedah yang akan digunakan di dalam analisis ruangan dan masa. Analisis sensitiviti turut dijelaskan berdasarkan kajian-kajian yang telah dijalankan bagi mendapatkan faktor yang dominan dalam mempengaruhi kejadian tanah runtuh. Selain itu, penerangan mengenai kaedah-kaedah dalam analisis ruangan menggunakan kaedah yang berbeza dalam pemetaan zon bahaya tanah runtuh akan dibincangkan. Di akhir bab ini huraian tentang analisis masa bagi mendapatkan jumlah hujan yang membawa kepada kejadian tanah runtuh dibincangkan secara terperinci.

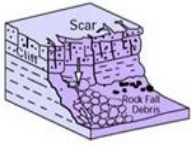
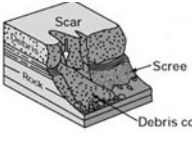
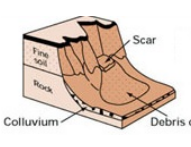
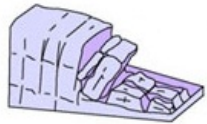
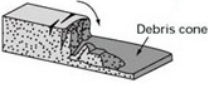
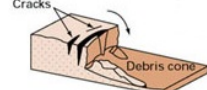

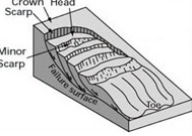
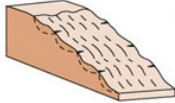
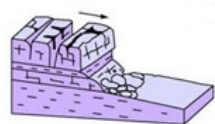
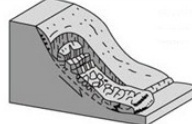
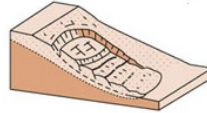
#### **2.2 Definisi Operasi**

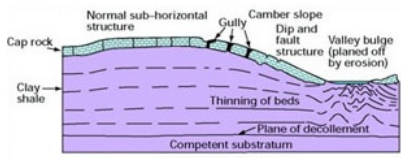

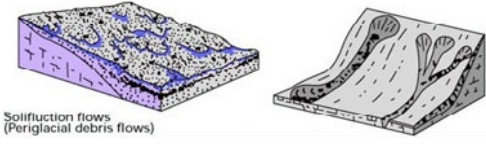


##### **2.2.1 Tanah Runtuh**

Secara umumnya tanah runtuh adalah pergerakan tanah, batuan atau keduanya menuruni cerun (Cruden, 1991; Sassa *et al.*, 2007). Selain itu, tanah runtuh juga dikenali sebagai fenomena semulajadi yang membawa kepada pergerakan sesuatu bahan dari kedudukan yang tidak stabil kepada kedudukan yang lebih stabil. Terdapat pelbagai jenis pergerakan tanah runtuh seperti jatuhan batuan, gelinciran batuan, tanah runtuh, gelongsoran batuan, gelongsoran salji, aliran lumpur dan aliran tanah yang merujuk kepada jenis batuan pada cerun dan mekanisma gelinciran atau jatuhan (Mathur & Sarkar, 2004). Oleh itu, jenis batuan dan mekanisma setiap

kejadian tanah runtuh adalah penting dalam menentukan klasifikasi kejadian tersebut (Jadual 2.1).

Jadual 2.1: Jenis Pergerakan Tanah Runtuh (Varnes, 1978; Hungr *et. al*, 2014)

Jenis Pergerakan		Jenis Bahan		
		Batuan	Tanah Kejuruteraan	
			Jenis Tanah Keras	Jenis Tanah Lembut
Gelinciran	Jatuhan	Jatuhan batuan 	Jatuhan puing 	Jatuhan tanah 
	Terbalikkan	Terbalikkan batuan 	Terbalikkan puing 	Terbalikkan tanah 
Gelinciran Putaran	Batuan		Puing 	Tanah 
	Gelinciran Translasi	Batuan 	Puing 	Tanah 

Pemisahan Mendatar		Pemisahan tanah 
Aliran		Aliran tanah 
Pemisahan majmuk	Kombinasi diantara dua atau lebih jenis pergerakan asas 	

### 2.2.2 Konsep Bahaya Tanah Runtuh

Bahaya tanah runtuh merupakan kebarangkalian berlakunya tanah runtuh mengikut jenis tertentu dan mempunyai magnitud di sesuatu kawasan dalam satu tempoh rujukan masa (Hervas & Bobrowsky, 2009). Magnitud sesuatu tanah runtuh adalah berdasarkan saiz dan halaju (Sorriso-Volvo, 2002; Hervas & Bobrowsky, 2009). Selain itu, Hervas dan Bobrowsky (2009) menyatakan bahawa frekuensi kejadian tanah runtuh turut dipertimbangkan di dalam bahaya tanah runtuh dengan menentukan masa sesuatu kejadian untuk berulang. Oleh itu, dalam peta bahaya tanah runtuh tidak hanya menunjukkan kawasan yang cenderung berlakunya tanah runtuh tetapi turut melibatkan taburan tahap frekuensi atau magnitud sesuatu aktiviti tanah runtuh (Crozier, 1986).

Kerentanan tanah runtuh berbeza dengan bahaya tanah runtuh. Kerentanan tanah runtuh adalah merujuk kepada kecenderungan sesuatu kawasan untuk berlakunya tanah runtuh (Lee & Jones, 2004; Hervas & Bobrowsky, 2009). Menurut Hervas & Bobrowsky (2009), secara ringkasnya definisi kerentanan tanah runtuh adalah kebarangkalian kejadian tanah runtuh berlaku mengikut jenis tertentu di sesuatu kawasan yang merujuk kepada perhubungan atau kebarangkalian (samaada kualitatif atau kuantitatif) dalam meramalkan kejadian tersebut berlaku pada masa akan datang. Dalam pemetaan kerentanan taburan ruangan dan kadaran unit permukaan bumi ditentukan mengikut pengaruh sesuatu faktor di dalam kejadian tanah runtuh termasuk topografi, geologi, geoteknikal, iklim, vegetasi dan pengaruh aktiviti manusia seperti pembangunan dan pembukaan hutan (Fell *et. al*, 2008). Oleh itu, sesuatu kawasan yang mempunyai potensi tanah runtuh akan dikelaskan mengikut darjah kesensitifan berdasarkan keadaan kawasan dan faktor-faktor yang menyebabkan kejadian tanah runtuh berlaku di kawasan tersebut.

Risiko tanah runtuh adalah merujuk kepada jangkaan kemusnahan dan kehilangan yang berlaku disebabkan oleh tanah runtuh (Hervas & Bobrowsky, 2009). Dalam penilaian risiko tanah runtuh, nilai setiap kemusnahan dan kehilangan diukur dalam bentuk ekonomi dengan mendapatkan kos yang ditanggung seperti kos penyelenggaraan bangunan dan infrastruktur, kos ubatan bagi individu yang tercedera atau kehilangan nyawa serta kehilangan tempat tinggal sekiranya berlaku tanah runtuh. Oleh itu, peta risiko tanah runtuh mewakili bahaya tanah runtuh di sesuatu kawasan yang terlibat serta kesannya kepada kehidupan manusia, ekonomi dan perubahan persekitaran di kawasan tersebut.

## **2.3 Faktor-faktor Mempengaruhi Kejadian Tanah Runtuh**

Secara amnya, pelbagai faktor yang mempengaruhi kejadian tanah runtuh. Walau bagaimanapun, tanah runtuh boleh berlaku disebabkan oleh satu faktor sahaja seperti hujan dan gempa bumi atau gabungan beberapa faktor yang lain termasuk faktor persekitaran dan faktor pencetus. Faktor persekitaran adalah terdiri daripada geometri cerun, geologi, tanah, hidrologi, geomorfologi dan guna tanah manakala faktor pencetus terdiri daripada hujan dan gempa bumi (van Westen *et. al*, 2008).

Dalam kajian ini, faktor persekitaran yang digunakan adalah terdiri daripada geometri cerun, geologi, tekstur tanah, hidrologi dan vegetasi. Faktor geometri cerun terdiri daripada sudut cerun, aspek cerun, ketinggian dan kelengkungan cerun. Dalam faktor geologi pula merangkumi litologi, sesar, dan umur batuan. Selain itu, tanah juga digunakan dalam pemetaan zon bahaya tanah runtuh yang dikelaskan mengikut tekstur tanah di kawasan kajian. Jarak tanah runtuh dengan sungai turut dianalisis bagi mendapatkan faktor hidrologi terhadap tanah runtuh. Pengaruh vegetasi terhadap tanah runtuh dipilih dengan menggunakan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Faktor pencetus yang digunakan dalam kajian ini pula adalah hujan dengan menganalisis purata hujan tahunan di kawasan kajian.

### **2.3.1 Faktor Topografi**

Faktor topografi merangkumi sudut cerun, aspek cerun, kelengkungan pada cerun ketinggian. Diantara faktor geometri tersebut, sudut kecerunan mempunyai pengaruh yang besar dalam mempengaruhi kejadian tanah runtuh (Dai dan Lee, 2002). Cerun yang curam mempunyai tegasan ricih yang tinggi berbanding dengan kekuatan ricih. Oleh itu, semakin curam sesuatu cerun, kebarangkalian untuk runtuh

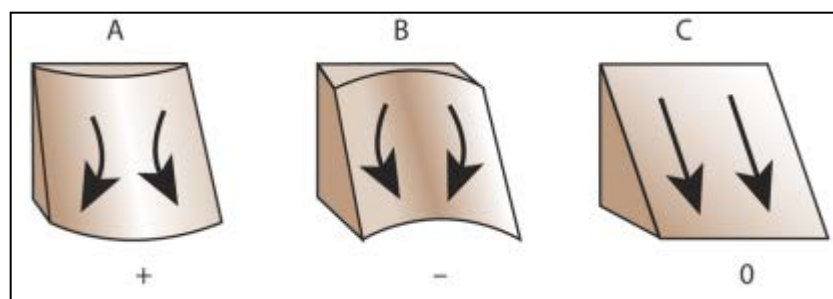
adalah tinggi (Ross, 1998). Dalam kebanyakan kajian tentang pemetaan kawasan risiko tanah runtuh, kecuraman cerun dikenalpasti sebagai faktor yang paling penting dalam mempengaruhi kejadian tanah runtuh (Pradhan & Lee, 2010).

Dalam pemetaan kawasan tanah runtuh, aspek pada cerun turut dijadikan sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi kawasan yang berisiko tanah runtuh. Aspek cerun didefinisikan sebagai arah permukaan cerun (Kanungo *et al.*, 2006). Aspek cerun terbahagi kepada cerun yang menghadap matahari dan cerun yang terlindung secara tidak langsung mempengaruhi taburan hujan dan penerimaan cahaya matahari. Jumlah taburan hujan adalah berbeza pada setiap aspek cerun mengikut arah angin yang bertiup. Di Malaysia, taburan hujan dipengaruhi oleh angin monsun barat daya dan angin monsun timur laut yang membawa hujan lebat di bahagian barat dan timur Semenanjung Malaysia. Aspek cerun yang mengadap arah tiupan angin akan menerima jumlah hujan yang tinggi berbanding aspek yang terlindung dari arah tiupan angin. Penerimaan cahaya matahari pada setiap aspek cerun mempengaruhi suhu sesuatu kawasan. Kelembapan dan penerimaan cahaya matahari untuk pertumbuhan vegetasi menyebabkan taburan vegetasi adalah dipengaruhi oleh aspek cerun.

Kebarangkalian berlakunya tanah runtuh mungkin juga disebabkan oleh faktor permukaan cerun seperti Lengkungan plan dan lengkungan profil. Ayalew *et al.*, (2005) menyatakan bahawa keLengkungan plan dan profil adalah penting dalam kajian tanah runtuh dengan mengawal pengaliran air yang keluar masuk ke dalam cerun dan dikelaskan kepada cerun cembung, cekung dan lurus. Selain itu, halaju air larian turut dipengaruhi oleh bentuk geometri sesuatu cerun.

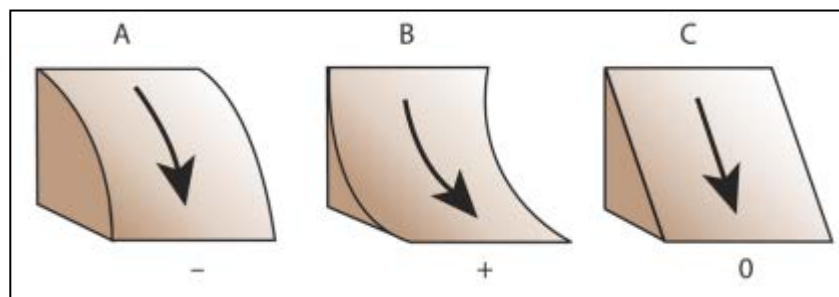


Lengkungan pelan adalah lengkungan pada lereng bukit pada satah mengufuk atau lengkungan kontur dalam peta topografi. Nilai positif menunjukkan permukaan cembung manakala nilai negatif pula menunjukkan permukaan cekung (Rajah 2.1). Nilai sifar menunjukkan permukaan cerun adalah lurus (Rajah 2.1). Lengkungan plan mempengaruhi pertumpuan atau percapanan air dan bahan pada cerun mengikut arah pergerakan tanah runtuh. Cerun cekung pada Lengkungan plan dalam arah menuruni cerun menyebabkan air larian akan berkumpul pada cerun cekung apabila air mengalir menuruni cerun secara mendatar. Cerun cembung pada kengkungan mendatar pula akan menyebabkan air permukaan akan mencampah meneruni cerun secara mendatar. Dalam kajian yang dijalankan oleh Alkhasawneh *et. al* (2013) menunjukkan tiada perbezaan yang ketara peratusan bilangan tanah runtuh pada kedua-dua permukaan cembung dan cekung bagi keLengkungan plan iaitu 46.19% dan 45.47% masing-masing. Dalam kajian tersebut, faktor kelengkungan cerun dikenalpasti sebagai salah satu faktor topografi yang menyebabkan kejadian tanah runtuh dengan menggunakan kaedah rangkaian *multilayer perceptron* dan *backpropagation* algoritma dalam pengelasan dan meramal masalah yang melibatkan pengiraan yang ringkas berbanding struktur rangkaian neural yang lain.



Rajah 2.1: Lengkungan plan (ArcGIS Resources, 2010)

Lengkungan profil merupakan kadar perubahan dari bahagian atas cerun ke bahagian bawah cerun pada satu aliran (Gallant & Wilson, 2000). Lengkungan ini mempengaruhi kelajuan aliran dan proses pengangkutan sedimen. Nilai positif pada kelengkungan profil menunjukkan permukaan cerun adalah cekung manakala nilai negatif adalah cembung (Rajah 2.2). Nilai sifar pula menunjukkan permukaan cerun pada kelengkungan profil adalah lurus (Rajah 2.2). Tanah runtuh sering berlaku pada cerun yang berbentuk cembung (Pandey & Dharmaraju, 2000). Hal ini disebabkan oleh jumlah beban pada cerun cembung adalah lebih tinggi daripada cerun cekung dan cerun lurus. Walaubagaimanapun, Ayalew *et al.* (2005) menyatakan bahawa cerun cekung mudah mengalami runtuh berbanding cerun cembung disebabkan kebarangkalian air bawah tanah menjadi tepu bagi setiap kedalaman lapisan tanah.



Rajah 2.2: Lengkungan Profil (ArcGIS Resources, 2010)

Ketinggian juga merupakan faktor kejadian tanah runtuh kerana mengawal beberapa proses geologi dan geomorfologi. Taburan hujan turut dipengaruhi oleh ketinggian sesuatu kawasan (Mashari *et al.*, 2012). Di kawasan tinggi, udara lembap mungkin disejukkan di bawah takat embun lalu terhasilnya awan dan hujan. Selain itu, ketinggian juga mempengaruhi suhu di sesuatu kawasan. Kawasan yang lebih

tinggi mempunyai suhu yang lebih rendah berbanding dengan kawasan rendah. Malah ketinggian juga mempengaruhi pergerakan aliran sub-permukaan.

### **2.3.2 Faktor Geologi**

Faktor geologi seperti litologi dan sesar turut mempengaruhi kejadian tanah runtuh. Litologi adalah merujuk kepada ciri-ciri fizikal pada batuan. Litologi yang berbeza pada setiap batuan mempengaruhi pembentukan dan ciri-ciri tanah runtuh serta taburan tanah runtuh (Liu *et al.*, 2004). Dalam kajian tersebut, *multi-variable elimination and characteristic model* digunakan bagi mendapatkan pemberat bagi setiap faktor yang terlibat di dalam kajian ini.

Kekuatan dan ketahanan sesuatu batuan terhadap proses luluhawa kimia dan fizikal akan dipengaruhi oleh kandungan dan struktur litologi batuan tersebut. Litologi juga mempengaruhi kejadian tanah runtuh apabila batuan induk terdedah disebabkan oleh pemotongan cerun yang kebiasaannya berlaku di kawasan tanah yang cetek (Jakob & Hungr, 2005). Dalam kajian oleh Kanungo *et al.* (2006), litologi merupakan faktor yang penting di dalam kejadian tanah runtuh yang berlaku di Darjeeling Himalaya apabila jenis batuan dikenalpasti sebagai faktor yang terpenting yang diperolehi daripada kaedah kualitatif iaitu menggunakan pengalaman dan kepakaran penyelidik.

Litologi turut digunakan di dalam penghasilan peta kerentanan di daerah Henrek, Turkey serta menjadi aspek terpenting kerana kebanyakan tanah runtuh berlaku pada pembentukan Orencik yang tidak kukuh atau semi- kukuh (Çevik & Topal, 2003). Selain itu, jenis litologi yang berbeza mempengaruhi ciri-ciri pada

sesuatu cerun seperti ketelapan, kekuatan dan ciri-ciri pembentukan batuan atau tanah.

Sesar pula mempengaruhi kejadian tanah runtuh apabila berlaku gelinciran atau sesaran pada batuan disebabkan daya mampatan atau tegangan oleh kerak bumi. Garisan sesar merupakan batuan yang mengalami rekahan disebabkan blok batuan yang bergerak selari terhadap blok batuan yang lain (Monroe *et al.*, 2007). Pergerakan secara tiba-tiba pada garisan sesar boleh menyebabkan berlakunya tanah runtuh. Beberapa tempat di Semenanjung Malaysia seperti Jerantut dan Bukit Tinggi serta di kawasan Malaysia Timur mengalami gempa bumi tempatan yang disebabkan oleh gelinciran atau garis sesar aktif.

### **2.3.3 Faktor Tekstur Tanah**

Tekstur tanah boleh mempengaruhi kejadian tanah runtuh di sesuatu kawasan. Tekstur tanah memberikan kesan yang mendalam dalam saliran tanah, kapasiti menampung air serta hakisan tanah. Tekstur tanah adalah berkaitan dengan nisbah peratusan kandungan liat, kelodak dan pasir (Pande *et al.*, 2009, Park *et al.*, 2013). Kapasiti keupayaan menampung air dan aliran air melalui partikel tanah turut dipengaruhi oleh tekstur tanah (Carrow, 1985; Reddy, S. M., 2003; Pande *et al.*, 2009). Tekstur tanah dikelaskan dengan merujuk kepada saiz partikel tanah yang berbeza dalam membentuk tanah yang dikelaskan kepada pasir, kelodak dan lempung.

Kelas tekstur tanah dapat dikenalpasti daripada peratusan nisbah bagi pasir, kelodak dan lempung dalam tanah dengan menggunakan system pengelasan Segitiga

Tekstur tanah USDA (*United State Department of Agriculture*) (Rajah 2.3). Segitiga tekstur tanah ini terdiri daripada tiga bahagian sisi iaitu peratusan lempung (*percent clay*), peratusan kelodak (*percent silt*) dan peratusan pasir (*percent sand*) manakala terdapat 12 jenis tanah di dalam segitiga tersebut iaitu pasir, kelodak, lempung, lom, pasir berlom, lom berpasir, lom lempung berpasir, lempung berpasir, lom berlodak, lom lempung, lom lempung berlodak, dan lempung berlodak.

Lee *et al.*, (2004) menggunakan tekstur tanah di dalam pemetaan kerentanan tanah runtuh di Yongin Korea. Dalam kajian beliau, setiap faktor dianalisis dengan menggunakan kaedah penentuan pemberat iaitu menentukan nilai nisbah peratusan piksel tanah runtuh untuk setiap kelas bagi setiap faktor terhadap peratusan jumlah piksel untuk setiap kelas. Hasil daripada ini mendapati bahawa kebanyakan tanah runtuh berlaku di kawasan tekstur tanah jenis lempung bergravel, lempung berpasir berbatuan, lempung berbatuan manakala bilangan tanah runtuh adalah rendah di kawasan lempung dan lempung berpasir. Dapatan dari kajian tersebut mendapati bahawa jenis tekstur tanah juga berkaitan dengan saiz butiran. Apabila hujan lebat, saiz butiran tanah akan mempunyai lebih ruang di antara butiran tersebut maka kandungan air akan menjadi lebih tinggi.