

# **ANALISIS RUANG-MASA DAN IMPAKNYA KEPADA HASILAN SEDIMEN DI SUNGAI DAERAH BARAT DAYA, PULAU PINANG**

**SUMAYYAH AIMI BINTI MOHD NAJIB**

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**2016**

**ANALISIS RUANG-MASA DAN IMPAKNYA  
KEPADA HASILAN SEDIMEN DI SUNGAI  
DAERAH BARAT DAYA, PULAU PINANG**

Oleh

**SUMAYYAH AIMI BINTI MOHD NAJIB**

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi  
keperluan bagi Ijazah Doktor Falsafah**

**ARPIL 2016**

## **PENGHARGAAN**

Alhamdulillah,

Bersyukur ke hadrat Illahi kerana dengan izinnya dapat saya menyiapkan tesis ini setelah menempuhi pelbagai halangan dan dugaan. Tesis ini tidak akan berjaya tanpa usaha, nasihat dan sokongan dari semua pihak. Jutaan terima kasih saya ucapkan kepada Penyelia, Dr. Zullyadini A. Rahaman yang tidak jemu membantu dari segi sokongan, nasihat dan tunjuk ajar serta membantu sebarang ketidakfahaman sewaktu sesi pencarian maklumat.

Jutaan terima kasih kepada Kementerian Pelajaran Malaysia atas tajaan pengajian di bawah skim MyPhD, Universiti Sains Malaysia atas geran Ijazah Tinggi RU-PRGS P-HUMANITI-846039 yang bertajuk “Perubahan Guna Tanah dan Permodelan Hasil Sedimen di Kawasan Barat Daya Pulau Pinang” dan Pusat Pengajian Sains Fizik terutama En Tan Foo Yee atas sumber data hujan automatik.

Kejayaan ini adalah dari sokongan Keluarga, Suami dan Anak yang banyak mendoakan kelancaran kajian sehingga siap tesis untuk di nilai. Tidak dilupakan juga pembantu makmal, adik-adik projek tahun akhir yang banyak membantu tenaga semasa persampelan dijalankan, terutamanya buat Husni, Nazrul, Kucai, juga En Ardiyanshah, Azizul dan Adam yang membantu dalam pemprosesan data, serta kawan-kawan Lab Geoinfo yang menjadi tempat meluahkan segala kekusutan. Jasa kalian akan dikenang sampai bila-bila.

**TERIMA KASIH.**

## ISI KANDUNGAN

	<b>Halaman</b>
<b>PENGHARGAAN</b>	ii
<b>ISI KANDUNGAN</b>	iii
<b>SENARAI JADUAL</b>	ix
<b>SENARAI RAJAH</b>	xi
<b>SENARAI SINGKATAN</b>	xv
<b>ABSTRAK</b>	xvii
<b>ABSTRACT</b>	xix

### **BAB SATU: PENDAHULUAN**

1.1	Pengenalan	1
1.2	Isu dan Permasalahan Kajian	4
1.3	Skop Kajian	6
1.4	Objektif Kajian	8
1.5	Konseptual Kajian	9
1.6	Kepentingan Kajian	12
1.7	Susunan tesis	13

## **BAB DUA: DEGRADASI OLEH HAKISAN TANIH**

2.1	Pengenalan	14
2.2	Proses-proses Hakisan Tanah	20
2.3	Faktor mempengaruhi Hakisan	24
	2.3.1 Faktor Pengaruh Iklim	27
	2.3.2 Faktor Topografi	27
	2.3.3 Faktor Geologi dan Tanah	28
	2.3.4 Faktor Litupan Tumbuhan	28
	2.3.5 Faktor Gunatanah	29
2.4	Agen dan Mekanik Hakisan	30
	2.4.1 Proses Hakisan Tanah oleh Air Mengalir	31
2.5	Kesan Hakisan	36
2.6	Sedimentasi dan Hasil Sedimen	39
	2.6.1 Nisbah Penghantaran Sedimen ( <i>Sedimen Delivery Ratio</i> )	46
	2.6.2 Keluk Kadar Sedimen ( <i>Sediment Rating Curve</i> )	48
2.7	Perubahan Gunatanah	55
2.8	Perubahan Hasil Sedimen disebabkan oleh Kesan Aktiviti Manusia	53
2.9	Model Peramalan Hakisan dan Pengangkutan Sedimen	56
	2.9.1 USLE ( <i>Universal Soil Loss Equation</i> )	61
	2.9.1(a) Faktor Erosiviti Hujan (R)	63

2.9.1(b) Faktor Erodibilitas (K)	65
2.9.1(c) Faktor Panjang Cerun (LS)	66
2.9.1(d) Faktor Penanaman (C)	67
2.9.1(e) Faktor Amalan Kawalan Hakisan (P)	68
2.9.2 Integrasi GIS	70
2.10 Kesimpulan	71

### **BAB TIGA: KAWASAN KAJIAN**

3.1 Pengenalan	74
3.2 Latar Belakang	74
3.2.1 Demografi	77
3.2.1(a) Populasi dan Kepadatan Penduduk	77
3.3 Latar Belakang Fizikal	79
3.3.1 Iklim dan Cuaca	79
3.3.2 Hujan	80
3.3.3 Suhu	84
3.3.4 Geologi dan Jenis Tanah	86
3.3.5 Topografi	88
3.3.6 Gunatanah	89
3.4 Lokasi Persampelan & Morfologi kawasan tadahan	92
3.4.1 Order sungai, panjang sungai, luas dan kepadatan saluran	98
3.5 Kesimpulan	100

## **BAB EMPAT: KAEDAH DAN INSTRUMENTASI KAJIAN**

4.1	Pengenalan	101
4.2	Kaedah di Lapangan	103
	4.2.1 Persampelan air	103
	4.2.2 Pengukuran kedalaman sungai	104
	4.2.3 Pengukuran keratan rentas dan luahan	107
	4.2.4 Pengukuran kepekatan sedimen terampai (SSC)	108
	4.2.5 Pengiraan beban dan hasilan sedimen	110
4.3	Analisis Data Perubahan Gunatanah	110
	4.3.1 Analisis landskap metrik	111
4.4	Penganggaran Sedimen Terampai berdasarkan Keluk Kadaran ( <i>Rating Curve</i> )	114
4.5	Pembangunan Model	117
	4.5.1 Pengenalan	117
	4.5.2 Integrasi GIS dalam pengiraan menggunakan USLE	118
	4.5.3 Faktor Erosiviti Hujan (R)	121
	4.5.4 Faktor Erodibiliti Tanah (K)	129
	4.5.5 Faktor Panjang Cerun (LS)	134
	4.5.5(a) Peta Kecerunan	137
	4.5.5(b) Grid arah aliran dan tumpuan aliran	138
	4.5.5(a)i-Arah aliran ( <i>flow direction</i> )	138
	4.5.5(b)ii- Arah tumpuan aliran ( <i>flow accumulation</i> )	138

4.5.5(c) Faktor Panjang Cerun (LS)	140
4.5.6 Faktor Pengurusan Penanaman (C)	143
4.5.7 Faktor Amalan Pengurusan (P)	143
4.5.8 Peta Kehilangan Tanah	147
4.6 Kesimpulan	150

**BAB LIMA: JUMLAH BEBAN SEDIMEN TERAMPAI DAN  
HASILAN SEDIMEN**

5.1 Jumlah beban sedimen terampai dan hasilan sedimen	151
5.1.1 Variasi bulanan beban sedimen terampai dan hasilan sedimen tahun 2012	152
5.1.1(a) Kawasan 1	152
5.1.1(b) Kawasan 2	155
5.1.1(c) Kawasan 3	158
5.1.1(d) Kawasan 4	160
5.2 Permodelan hakisan tanah menggunakan USLE	164
5.2.1 Kehilangan tanah (USLE) 1974-2012	164
5.2.2 Kawasan 1	165
5.2.3 Kawasan 2	166
5.2.4 Kawasan 3	168
5.2.5 Kawasan 4	169
5.3 Tentu-sah USLE	170
5.4 Keputusan Anggaran Hasil Sedimen 1974-2012 selepas	175



	pembetulan USLE	
	5.4.1 Kawasan 1	175
	5.4.2 Kawasan 2	178
	5.4.3 Kawasan 3	189
	5.4.4 Kawasan 4	181
5.5	Analisis Perubahan Gunatanah	186
	5.5.1 Gunatanah antara tahun 1974-2012	187
	5.5.2 Analisis Metrik Ruangan	187
	5.5.2(a) <i>Number of Patches (Nump) &amp; Mean Patch Size</i>	193
	5.5.2(b) <i>Edge Metrics</i>	195
	5.5.2(c) <i>Shannon Index</i>	198
	5.5.3 Hubungkait Gunatanah dan Hasil Sedimen Perubahan Gunatanah terhadap Hasil Sedimen	199
 <b>BAB ENAM : PENUTUP</b>		
6.1	Rumusan Kajian	208
6.2	Cadangan Kajian Akan Datang	213
	RUJUKAN	214
	LAMPIRAN	243

## SENARAI JADUAL

		<b>Halaman</b>
Jadual 1.1	Keluasan tanah global yang dipengaruhi oleh hakisan air dan angin	3
Jadual 2.1	Hasilan sedimen tahunan beberapa sungai di seluruh dunia	44
Jadual 2.2	Hasilan sedimen tahunan beberapa sungai di Malaysia	45
Jadual 2.3	Beberapa model empirikal untuk menganggarkan nisbah penghantaran sedimen berdasarkan ciri kawasan lembangan sungai	47
Jadual 2.4	Ulasan Permodelan Ramalan Hakisan	58
Jadual 3.1	Corak agihan penduduk dan tren pertumbuhan penduduk tahun 1970,1980 dan 1991	78
Jadual 3.2	Info klimatologi bagi kawasan Pulau Pinang, Stesen Kaji Cuaca: 5.3N 100E ketinggian 4m ASL	84
Jadual 3.3	Pola guna tanah Pulau Pinang dari tahun 1985 hingga 1995	90
Jadual 3.4	Jenis dan keluasan guna tanah 2012	90
Jadual 3.5	Lokasi serta hidrologi kawasan lembangan sungai	94
Jadual 4.1	FRAGSTAT metrik	113
Jadual 4.2	Persamaan ini digunakan untuk mendapatkan nilai hasilan sedimen tahunan (tan/km <sup>2</sup> /tahun)	116
Jadual 4.3	Sumber data hujan	121

Jadual 4.4	Nilai P dan R kawasan kajian	125
Jadual 4.5	Nilai K kawasan kajian	131
Jadual 4.6	Nilai Faktor C bagi setiap guna tanah kawasan kajian	144
Jadual 4.7	Nilai SDR yang digunakan dalam kajian ini	148
Jadual 5.1	Jumlah beban sedimen terampai bagi tahun 2012 (Kaw 1)	154
Jadual 5.2	Jumlah beban sedimen terampai bagi tahun 2012 (Kaw 2)	157
Jadual 5.3	Jumlah beban sedimen terampai bagi tahun 2012 (Kaw 3)	159
Jadual 5.4	Jumlah beban sedimen terampai bagi tahun 2012 (Kaw 4)	162
Jadual 5.5	Kehilangan tanah menggunakan USLE (tan/km <sup>2</sup> /tahun)	164
Jadual 5.6	Tentu-sah USLE vs cerapan	173
Jadual 5.7	Statistik deskriptif hasilan sedimen (tan/km <sup>2</sup> /tahun bagi 19 lembangan sungai)	177
Jadual 5.8	Pengkelasan gunatanah bagi kawasan kajian	186
Jadual 5.9	Peratus perubahan guna tanah bagi keseluruhan kawasan tadahan dari tahun 1974-2012	189
Jadual 5.10	Statistik Analisis Metrik “ <i>Patch Analyst</i> ”	197
Jadual 5.11	Nilai SHDI bagi tahun 1974-2012	198
Jadual 5.12	Perbandingan hasilan sedimen dengan sungai-sungai lain di Malaysia	203

## SENARAI RAJAH

		<b>Halaman</b>
Rajah 1.1	Kerangka Konseptual	11
Rajah 2.1	Gambaran/Menifestasi degradasi tanah	18
Rajah 2.2	Interaksi di antara faktor bio-fizikal dan sosio-ekonomi dan menyebabkan kadar hakisan tanah dan tahap degradasi tanah	23
Rajah 2.3	Proses di atas cerun	22
Rajah 2.4	Faktor, punca dan interaksinya terhadap hakisan tanah	25
Rajah 2.5	Mekanik hakisan tanah	34
Rajah 2.6	Titisan hujan yang menimpa permukaan tanah yang terdedah	39
Rajah 2.7	Corak hasil sedimen di seluruh dunia	43
Rajah 2.8	Keluk kadar antara luahan dan sedimen di a) Sg Muda dan b) Sg Langat	50
Rajah 2.9	Faktor-faktor yang digunakan dalam pengiraan USLE	69
Rajah 3.1	Pertumbuhan urbanisasi Pulau Pinang tahun 1840-1985	76
Rajah 3.2	Hujan di Stesen Hujan Bayan Lepas dan Stesen Hujan Pusat Pengajian Fizik (PPSF) tahun 2012	82
Rajah 3.3	Hujan tahun 2012 di Stesen Hujan Tali Air Besar, Sg. Pinang	82
Rajah 3.4	Hujan tahun 2012 di Stesen Hujan Pintu Bagan Air Hitam	83
Rajah 3.5	Hujan tahunan dari tahun 1953 hingga 1993	83

Rajah 3.6	Purata suhu tahunan Stesen Bayan Lepas 1980-2001	85
Rajah 3.7	Siri tanah Pulau Pinang	87
Rajah 3.8	Gunatanah bagi kawasan kajian (Barat Daya, Pulau Pinang)	91
Rajah 3.9	Lokasi persampelan bagi sungai Barat Daya, Pulau Pinang	95
Rajah 3.10	Pembahagian sub-lembangan mengikut kawasan	97
Rajah 3.11	Order sungai mengikut Strahler bagi lembangan Sungai Relau	99
Rajah 4.1	Kerangka kerja kajian	102
Rajah 4.2	Alatan untuk melakukan aktiviti pengukuran kedalaman	104
Rajah 4.3	Alatan <i>Hydropop Stream Flowmeter (propeller)</i> untuk mengukur kelajuan arus.	106
Rajah 4.4	Keratan rentas sungai	108
Rajah 4.5	Carta aliran bagi mendapatkan hasil sedimen tahunan	115
Rajah 4.6	Carta aliran analisis kehilangan tanah menggunakan aplikasi GIS	119
Rajah 4.7	Persamaan kehilangan tanah sejangat (USLE) menggunakan sistem maklumat geografi (GIS). Tindihan lapisan dalam GIS membolehkan parameter USLE yang akan diberikan kepada setiap sel, dan hakisan tanah oleh air dianggarkan	120
Rajah 4.8	Intensiti hujan bagi kawasan Pulau Pinang	127
Rajah 4.9	Peta Faktor R kawasan kajian	128
Rajah 4.10	Nomograf bagi mengira kebolehhakisan tanah bagi Malaysia	130
Rajah 4.11	Peta siri tanah bagi Pulau Pinang	132

Rajah 4.12	Peta faktor K bagi kawasan kajian	133
Rajah 4.13	Takrif panjang cerun yang digunakan dalam pengiraan LS	134
Rajah 4.14	Proses mendapatkan nilai faktor panjang cerun	135
Rajah 4.15	Model TIN bagi kawasan kajian	136
Rajah 4.16	DEM kawasan kajian	136
Rajah 4.17	Peta kecerunan kawasan kajian	137
Rajah 4.18	Peta arah aliran	139
Rajah 4.19	Peta tumpuan aliran	139
Rajah 4.20	Peta faktor panjang cerun (LS)	142
Rajah 4.21	Peta faktor C	145
Rajah 4.22	Peta Faktor P	146
Rajah 4.23	Pengiraan USLE menggunakan <i>raster calculator</i>	147
Rajah 4.24	Peta Kehilangan Tanah ( $\text{tan}/\text{km}^2/\text{tahun}$ ) pada tahun 2012	149
Rajah 5.1	Pertalian di antara beban sedimen terampai dan keluasan kawasan tadahan (Kawasan 1)	155
Rajah 5.2	Pertalian di antara beban sedimen terampai dan keluasan kawasan tadahan (Kawasan 2)	157
Rajah 5.3	Pertalian di antara beban sedimen terampai dan keluasan kawasan tadahan (Kawasan 3)	160
Rajah 5.4	Pertalian di antara beban sedimen terampai dan keluasan kawasan tadahan (Kawasan 4)	162
Rajah 5.5	Regresi antara USLE melawan cerapan	171
Rajah 5.6	Had kejituan antara data cerapan dan pembetulan ramalan	174

## USLE

Rajah 5.7	Perbandingan hasil sedimen mengikut kawasan	184
Rajah 5.8	Perubahan guna tanah sepanjang tahun 38 tahun dari 1974-2012	188
Rajah 5.9	Pecahan guna tanah dari tahun 1974-2012	190
Rajah 5.10	Tren hasil sedimen dan nilai SHDI bagi kawasan kajian	204
Rajah 5.11	Pertalian di antara nilai SHDI dan anggaran hasil sedimen	205
Rajah 5.12	Pertalian di antara <i>Mean Patch Size</i> dan hasil sedimen bagi gunatanah pertanian	207
Rajah 5.13	Hubungan antara nilai hasil sedimen dan MPS bagi gunatanah pertanian Sg. Rusa	207

## SENARAI SINGKATAN

ED	<i>Edge Metrics</i>
Ha	Hektar
JPS	Jabatan Pengairan dan Saliran
Kg	Kilogram
Km	Kilometer
km <sup>2</sup>	Kilometer persegi
M	Meter
m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Meter padu per saat
mg/L	Milligram perliter
MPS	<i>Mean Patch Size</i>
NumP	<i>Number of patch</i>
SDR	Nisbah penghantaran sedimen
Sg.	Sungai
SSC	Kepekatan sedimen terampai
SHDI	<i>Shannon Diversiti Index</i>
tan km <sup>-2</sup> tahun <sup>-1</sup>	tan kilometer persegi per tahun
TE	<i>Total Edge</i>
USLE	<i>Universal Soil Loss Equation</i>



## KAWASAN KAJIAN

RU	Sg. Relau Hulu
RH	Sg. Relau Hilir
AU	Sg. Ara Hulu
AM	Sg. Ara Hilir
TK	Sg. Teluk Kumbar
PB	Sg. Pulau Betong
SN	Sg. Nipah
BR	Sg. Burong
KJB	Sg. Kuala Jalan Baru
BY	Sg. Buaya
TT	Sg. Titi Teras
PL	Sg. Pak Long
AP	Sg. Air Puteh
RS	Sg. Rusa
SP	Sg. Pinang
TTK	Sg. Titi Kerawang
TBU	Sg. Teluk Bahang Hulu
TBD	Sg. Teluk Bahang Hilir
TL	Timur Laut
BD	Barat Daya

# **ANALISIS RUANG-MASA DAN IMPAKNYA KEPADA HASILAN SEDIMEN DI SUNGAI DAERAH BARAT DAYA, PULAU PINANG**

## **ABSTRAK**

Pulau Pinang dengan keluasan tanah yang terhad telah mengalami perubahan gunatanah yang pesat dari segi pertanian, petempatan, perbandaran dan pelbagai aktiviti manusia sejak 20 tahun kebelakangan ini. Perubahan gunatanah adalah salah satu daripada beberapa faktor penting yang mempengaruhi degradasi tanah oleh hakisan. Objektif utama kajian ini adalah untuk menganggarkan hasil sedimen lampau menggunakan *Universal Soil Loss Equations* (USLE) dan pertaliannya dengan perubahan gunatanah yang berlaku bagi tahun 1974, 1984, 2004 dan 2012 bagi 19 lembangan sungai di kawasan Barat Daya Pulau Pinang. Lima faktor utama yang diambil kira dalam pengiraan USLE dalam menganggarkan kehilangan tanah adalah faktor R bagi erosiviti hujan, faktor K - erodibiliti tanah, faktor LS- panjang cerun, faktor C- pengurusan penanaman dan faktor P- amalan kawalan hakisan. Metodologi yang digunakan ialah melibatkan pengumpulan data primer (persampelan sedimen dan pengukuran aliran sungai), dan data sekunder (peta gunatanah, jenis tanah dan rekod hujan). Keluk kadaran dan USLE digunakan untuk menganggarkan hasil sedimen. Analisis Landskap Metrik juga digunakan bagi mengkaji gunatanah mana yang dominan dan kesan rebakan yang mempengaruhi nilai hasil sedimen. Hasil sedimen yang dianggarkan dari tahun 1974-2012 menunjukkan peningkatan dari tahun ke tahun. Purata hasil sedimen bagi 19 kawasan tadahan ini masing-masing adalah 169.88 tan/km<sup>2</sup>/tahun dan 259.50 tan/km<sup>2</sup>/tahun bagi tahun 1974 dan 1984. Ini merupakan 52.75% perubahan purata hasil sedimen yang kemudiannya meningkat sedikit (2.08%)

menjadi 264.92 tan/km<sup>2</sup>/tahun pada tahun 2004, dan meningkat dengan banyak (17.5%) menjadi 311.39 tan/km<sup>2</sup>/tahun pada tahun 2012. Dapatan kajian mendapati adanya pertalian yang signifikan dengan perubahan gunatanah hasil daripada analisis *Shannon Diversity index*. Peningkatan yang selari ini dibuktikan dengan nilai regresi  $R^2=0.97$ . Kajian ini mempamerkan satu pertalian positif yang signifikan antara hasil sedimen dengan peratus perubahan gunatanah pertanian dan perbandaran. Dapatan baru dari kajian ini adalah sumbangan utama tentang hasil sedimen bagi kawasan lembangan sungai tanpa cerapan di kawasan Barat Daya Pulau Pinang, dan diharap menjadi sumber rujukan amnya bagi lain-lain kajian bagi lembangan sungai tanpa cerapan.

**SPATIAL-TEMPORAL ANALYSIS AND ITS IMPACT ON  
SEDIMENT YIELD OF RIVERS IN BARAT DAYA DISTRICT, PULAU  
PINANG**

**ABSTRACT**

Pulau Pinang has limited sources of land, and has been undergoing a rapid land use changes through agriculture, settlement, and urbanisation and many more human activities. Land use changes is one of the many important factors controlling the land degradation by erosion. The main objective of this study is to estimate past sediment yield using Universal Soil Loss Equations (USLE) and its relationship with land uses in 1974, 1984, 2004 and 2012, for 19 catchments in the Barat Daya Region of Pulau Pinang. Five factors that adapted to the study areas using USLE were factor R is the rainfall erosivity; K is the soil erodibility; LS is the slope length and steepness factor; C is the land cover and management factor and P is the support conservation practice factor. Methodology used involves primary data collection (sediment sampling and streamflow gauging), and secondary data collection (land uses and soil maps; past rainfall records). Landscape Metrics Analysis was used to investigate which land uses were dominant and the spreading of the land uses affecting the sediment yield. Sediment rating curves and USLE were used to estimates past sediment yield. The estimated sediment yield from 1974-2012 shows an increasing trend. The average amount of sediment yield for all 19 catchments were estimated at 193.88 ton/km<sup>2</sup>/year and 259.50 ton/km<sup>2</sup>/year (52.75%) for 1974 and 1984, respectively. Then it increased slightly (2.08%) to an average of 264.92 ton/km<sup>2</sup>/year in 2004 and increased further (17.5%) to

311.39 ton/km<sup>2</sup>/year in 2012. The results from analysis Shannon Diversity index shows that there are significant relation between land use changes and sediment yield with  $R^2=0.97$ . This study revealed a significant positive relationship between sediment yield and the changing agricultural and built-up land use. This new finding from an ungauged catchments in the Barat Daya region is a significant contribution to sediment yield estimation and could be a source of reference for other ungauged catchment studies.

## **BAB 1: PENDAHULUAN**

### **1.1 PENGENALAN**

Tanah terhasil daripada proses penguraian, pereputan batuan oleh tindak balas proses fizikal, kimia, biologi dan klimatologi. Puluhan ribu tahun diperlukan untuk membentuk lapisan tanah yang berbeza. Proses pembentukan ini begitu lambat dan tanah boleh dikategorikan sebagai sumber yang tidak boleh diperbaharui (Ferro & Minacapalli, 1995). Iklim, geologi, topografi dan guna tanah merupakan kombinasi kejadian yang mengawal jumlah pengeluaran dan pengangkutan tanah sama ada disebabkan oleh air atau angin. Hakisan pecutan adalah hasil daripada dua faktor iaitu pengurusan yang tidak betul terhadap produktiviti tanah dan eksploitasi tanah marginal yang mana keduanya menggunakan tanah tanpa mengambilkira kesesuaiannya (Brath et al., 2002).

Proses tabur-semula tanah dan sedimen merupakan pemacu utama pembangunan landskap dan memainkan peranan penting dalam pembangunan tanah. Proses-proses hakisan, penghantaran dan pengangkutan sedimen merupakan komponen utama kepada fungsi sistem bumi (Price & Karesh, 2000). Magnitud beban sedimen yang diangkut oleh sungai memberi implikasi penting kepada fungsi sistem sungai; contohnya melalui pengaruhnya terhadap fluks bahan, kitaran geokimia, kualiti air, morfologi saluran, pembangunan delta dan ekosistem akuatik yang disokong oleh sungai (Walling, 1999). Tenaga utama penyebab hakisan oleh tindakan air adalah graviti, menerusi jatuhnya hujan yang mengalir ke bawah kawasan cerun (Walling & Fang, 2003). Percikan hujan dan

aliran permukaan memisahkan partikel tanah dan kemudiaannya diangkut menuruni cerun oleh tenaga kinetik yang dipindahkan daripada aliran air kepada sedimen (Rose, 1960). Pelbagai jenis tindakan oleh agen hakisan menyebabkan penyingkiran sebahagian daripada tanah liat dan humus dari tanah dan meninggalkan pasir kasar serta serpihan batu di belakang. Kebanyakan tanah yang subur dikaitkan dengan tanah liat dan humus (Brown, 1958). Komponen ini penting dalam aktiviti mikrobiologi, struktur tanah, koboletelapan dan penyimpanan air. Tanah yang terhakis menjadi sedimen yang akhirnya menutupi bahagian bawah tanah dan struktur buatan manusia. Galur, bukit pasir dan lain-lain petanda hakisan merupakan contoh penggunaan tanah tanpa pengurusan yang betul (Valentin et al., 2005).

Hakisan tanah oleh air adalah satu bentuk degradasi tanah dan telah menjadi satu masalah alam sekitar (Wasson, 1987). Ia mula diakui kerana bukan hanya masalah kepada pertanian tetapi juga memberi implikasi yang besar kepada masyarakat awam amnya. Sebagai contoh, kawasan separa pertanian di rantau Mediterranean telah mengalami degradasi tanah yang meruncing (Walling & Webb, 1996) dan perubahan gunatanah adalah salah satu daya memacu yang boleh mempercepatkan hakisan (Boardman & Poesen, 2006). Oldeman (1991) menganggarkan bahawa kemerosotan tanah yang dilakukan oleh manusia adalah 24% daripada kawasan tanah yang didiami. Kajian di beberapa benua yang terpilih adalah 12% di Amerika Utara, 18 % di Amerika Selatan, 19 % di Oseania, 26 % di Eropah, 27 % di Afrika dan 31 % di Asia. Kawasan yang besar di permukaan bumi terkesan oleh hakisan yang dipercepatkan oleh air dan angin (Jadual 1.1).

Jadual 1.1: Keluasan tanah global yang dipengaruhi oleh hakisan air dan angin (Oldeman,1991).

Benua	Kawasan tanah yang terjejas oleh hakisan (10 <sup>6</sup> ha)	
	Hakisan air	Hakisan angin
Afrika	227	186
Asia	441	222
Amerika Selatan	123	42
Amerika Tengah	46	5
Amerika Utara	60	35
Eropah	114	42
Oseania	83	16
Dunia	1094	548

Perubahan gunatanah adalah perbezaan antara dua atau lebih penggunaan gunatanah dalam satu-satu masa, dan perubahan ini boleh menjadi positif atau negatif bagi perlindungan tanah dari agen yg menyebabkan hakisan (MacDonald et al., 2000; Geeson et al., 2002). Ini bergantung kepada iklim, ciri-ciri kawasan dan jenis litupan tanah selepas perubahan yang berlaku (Avenue, 2001). Di kawasan pergunungan Sepanyol, peladang mengubahsuai rupa bumi dengan membina teres dan parit dalam usaha untuk meningkatkan hasil pertanian dan memelihara lapisan atas permukaan tanah (Garcia-Ruiz et al., 1996). Walau bagaimanapun, tanah yang terbiar mengakibatkan degradasi secara progresif ke atas teres dan parit tersebut (Gallart et al., 1994).

Di Malaysia, perubahan guna tanah yang pesat telah berlaku terutamanya selepas negara mencapai kemerdekaan. Perubahan gunatanah telah didorong oleh beberapa faktor seperti ekonomi, sosio-politik dan biofizikal (Wan Ruslan, 1997). Sejak dua dekad yang lalu, evolusi penggunaan tanah menjadi drastik sama ada di kawasan bandar



dan luar bandar. Lebih banyak kawasan tanah telah disesar atau ditukar kepada aktiviti bukan pertanian terutamanya bagi aktiviti industri, perumahan dan komersil. Penggunaan tanah dan litupan tanah sentiasa berubah, kedua-duanya dipengaruhi oleh aktiviti manusia dan alam semulajadi, menyebabkan pelbagai kesan ke atas ekosistem. Malah kesan penggunaan tanah mempunyai potensi secara signifikan akan menjejaskan kelestarian sistem pertanian dan hutan (Katiman, 2001).

## **1.2 ISU DAN PERMASALAHAN KAJIAN**

Sedimen terutamanya kepekatan sedimen terampai dikenalpasti sebagai penyebab utama gangguan kepada sistem sungai. Secara tidak langsung, kepekatan sedimen terampai selalunya bertindak sebagai agen pengangkutan untuk membawa nutrien, logam surih, sebatian organik separa meruap, racun perosak dan dengan itu mempengaruhi fizikal, kimia dan sifat-sifat biologi ekosistem akuatik (Bledsoe & Watson, 2001). Pada masa kini, tanah telah menjadi salah satu sumber terhad di Pulau Pinang yang disebabkan oleh keadaan topografinya yang berbukit dan tanah rata yang agak terhad untuk kegunaan pertanian, petempatan, perbandaran. Sememangnya Pulau Pinang merupakan sebuah bandar perindustrian yang pesat dan padat (Pradhan et al., 2012).

Dalam rangka menghadapi cabaran masa depan yang disebabkan oleh kepesatan pembangunan ekonomi, terdapat permintaan yang tinggi bagi keperluan kawasan tanah rata di Pulau Pinang (Ahmad et al., 2005). Walaupun beberapa penambakan tanah telah dilakukan, namun adalah tidak mencukupi bagi memenuhi permintaan yang tinggi untuk

mendapatkan kawasan rata di dalam pulau. Oleh yang demikian, para pemaju beralih arah kepada kawasan berbukit bagi projek-projek baru. Pembangunan tersebut secara tidak langsung telah melibatkan risiko yang tinggi kerana kawasan berbukit adalah sangat sensitif kepada tanah runtuh. Dalam beberapa dekad kebelakangan ini, perindustrian dan perkembangan sektor ekonomi yang lain telah dipergiatkan, membawa kepada proses pembangunan yang lebih besar dan lebih banyak tekanan terhadap kawasan tanah rata (Bledsoe & Watson, 2001).

Banyak bukit dan kawasan sekitarnya sudah pun dibangunkan dan secara tidak langsung mewujudkan konflik penggunaan tanah seterusnya membawa kepada pelbagai masalah alam sekitar seperti penebangan hutan, pemusnahan lembangan sungai air, ancaman flora dan fauna, hakisan tanah, tanah runtuh, pencemaran air, pemendapan dan banjir. Sebahagian masalah ini menjadi lebih teruk dan bertukar menjadi bencana. Peningkatan populasi penduduk yang semakin pesat membawa kepada pembukaan kawasan baru yang berterusan, dan hal ini akan memberi tekanan ke atas sumber asli. Apabila tanaman tutup bumi terbuka dari permukaan tanah, kadar hakisan akan meningkat dengan pantas (Rocha et al., 2012).

Kini kemerosotan sumber nilai tanah dan hakisan tanah merupakan masalah global. Kemerosotan tanah yang serius tidak lagi bermanfaat kepada hidupan, malah hakisan bukan sahaja merosakkan alam sekitar, tetapi juga menyebabkan kerugian besar kepada sesebuah negara (Chaplot et al., 2005). Sifat semulajadi landskap, topografi tanah, geologi dan tumbuh-tumbuhan mempengaruhi jenis bahan-bahan yang dibawa

oleh air larian permukaan. Apabila manusia mengganggu alam semula jadi, perubahan lindungan tumbuhan, tanaman, jenis dan jumlah bahan terlarut yang dibawa oleh air larian akan berubah dengan ketara (Qiu et al., 2012).

Justeru, dengan adanya masalah seperti cerapan hakisan tanah yang agak mahal dan memakan masa, maka perlunya kaedah yang lebih cepat dalam menganggarkan hakisan tanah dilakukan seterusnya pertalian antara gunatanah dan hasilan sedimen dapat dibuat.

### **1.3 SKOP KAJIAN**

Kajian ini memfokuskan kepada satu kajian penganggaran hasilan sedimen terampai lampau juga mengaitkan dengan perubahan gunatanah yang berlaku dengan andaian perubahan gunatanah mempengaruhi jumlah hasilan sedimen terampai. Skop kajian dikecilkan kepada 19 lembangan sungai di kawasan Barat Daya, Pulau Pinang kerana kelompongan data di kawasan kajian ini, dan kepelbagaian gunatanah berbanding kawasan Timur Laut yang di dominasi oleh gunatanah tepu-bina. Kesemua 19 lembangan sungai ini adalah mewakili 90% kesemua sungai di daerah Barat Daya yang mana sungai yang boleh dikaji, kerana ada sungai di kawasan Barat Daya yang sudah tidak wujud juga mengikut kepada ketersampaian dan kewujudan sungai di dalam peta. Selain daripada itu, kajian hasilan sedimen pernah dikaji di beberapa lembangan sungai di daerah Timur Laut dan tiada kajian yang komprehensif di kawasan Barat Daya.

Kajian ini juga merupakan kajian yang kena pada masanya kerana kawasan Barat Daya mula membangun kerana pembangunan mula berkembang di kawasan Barat Daya.

Metodologi yang digunakan ialah melibatkan pengumpulan data primer (persampelan sedimen dan pengukuran aliran sungai), dan data sekunder (peta gunatanah, jenis tanah dan rekod hujan). Kaedah keluk kadaran (*rating curve*) digunakan bagi parameter hujan dan beban sedimen terampai bagi penganggaran hasil sedimen tahun 2012 sementara *Persamaan Kehilangan Tanah Sejangat* (USLE) digunakan untuk menganggarkan hasil sedimen terampai lampau setelah dibuat perbandingan antara data cerapan dan data kehilangan tanah menggunakan USLE. Pelbagai model untuk mensimulasi pengangkutan sedimen telah digunakan dan model-model ini berbeza dari segi kerumitan, proses, dan data yang diperlukan untuk penentu-ukuran dan penggunaan model. Rasional pemilihan model USLE dalam kajian ini adalah kerana ia telah digunakan oleh ramai pengkaji untuk menganggarkan hakisan tanah dan tidak memerlukan kos yang tinggi juga mudah digunakan dengan integrasi GIS. Aktiviti manusia seperti penerokaan hutan, petempatan, perbandaran dan sebagainya memberi implikasi terhadap jumlah hasil sedimen terampai seterusnya membawa kepada kemerosotan kualiti air sungai. Dengan menggunakan analisis GIS, *Patch Analyst* digunakan untuk analisis Analisis Landskap Metrik (Jumlah *Patch*, *Edge Density*, *Total Edge* & *Shannon Diversity Index*) bagi mengkaji gunatanah mana yang dominan dan kesan rebakan yang mempengaruhi nilai hasil sedimen. Data gunatanah yang digunakan adalah bagi tahun 1974, 1984, 2004 dan 2012 telah digunakan untuk melihat perubahan gunatanah yang berlaku dalam tempoh berkenaan.

#### **1.4 OBJEKTIF KAJIAN**

Secara umumnya, kajian ini adalah untuk menganalisis dan menentukan kesan perubahan guna tanah terhadap penghasilan sedimen di beberapa lembangan sungai terpilih di kawasan Barat Daya Pulau Pinang. Oleh itu, objektif-objektif kajian ini adalah seperti berikut :

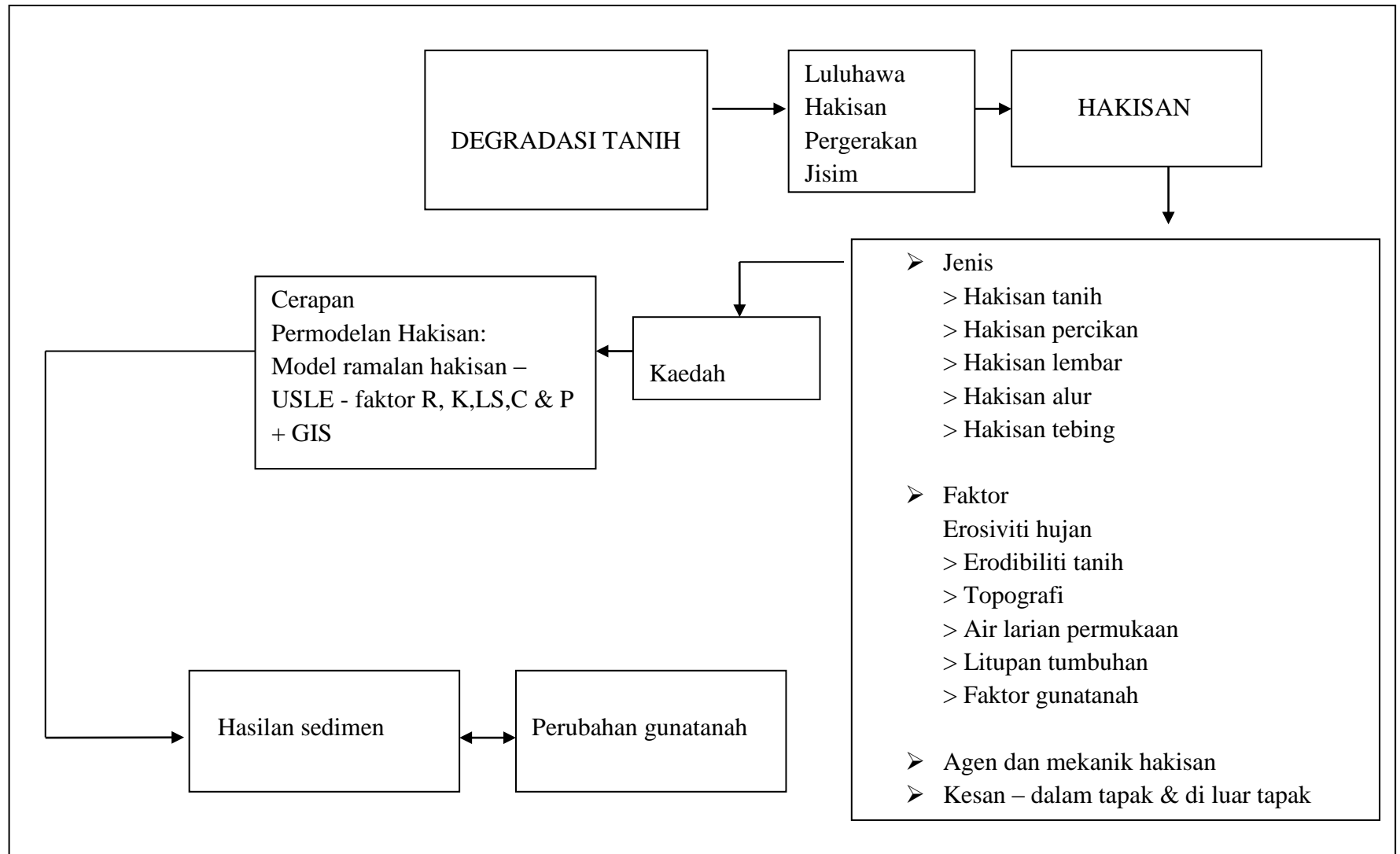
1. Menganggar dan menganalisis data cerapan beban terampai dan hasil sedimen berdasarkan guna tanah tahun 2012
2. Menganggar hasil sedimen bagi tahun 1974, 1984, 2004 dan 2012 dengan menggunakan kaedah *Persamaan Kehilangan Tanah Sejangat* (USLE).
3. Menguji kejituan anggaran USLE dengan data yang dicerap di lapangan.
4. Menilai pertalian antara perubahan gunatanah dan perubahan sedimen bagi 19 lembangan sungai, Barat Daya, Pulau Pinang.

## **1.5 KERANGKA KONSEP KAJIAN**

Kerangka konsep kajian dipaparkan menerusi Rajah 1.1 dan kajian ini adalah bermula dengan isu utama kajian iaitu degradasi tanah yang membawa kepada terhasilnya hasil sedimen terampai. Proses hakisan tanah bermula dengan tindakan air hujan dan hakisan bermula di atas cerun yang mana hujan yang turun akan mula memasuki tanah seterusnya membawa sedimen memasuki saluran sungai. Tumbuhan memainkan peranan yang penting sebagai pengikat tanah. Dewasa ini, kekurangan litupan tumbuhan kesan daripada perubahan gunatanah menyebabkan peningkatan terhadap jumlah hakisan. Proses hakisan berlaku di atas cerun adalah seperti, hakisan percikan, hakisan lembar, hakisan alur dan galur yang mana proses ini akan mengangkut dan memendapkan sedimen ke dalam sungai seterusnya ke dalam laut. Selain daripada itu, faktor fizikal lain seperti faktor hujan, kebolehhakisan tanah, topografi, air larian permukaan, litupan tumbuhan dan faktor gunatanah adalah faktor fizikal dalam lembangan yang turut menyumbang kepada penghasilan sedimen terampai.

Peningkatan jumlah penduduk yang kian bertambah, memberi tekanan ke atas gunatanah. Manusia sememangnya berperanan dari segi perubahan terhadap gunatanah yang berlaku dalam sesebuah lembangan sungai seterusnya terdedah kepada agen penyebab hakisan. Kajian ini dilakukan bagi mengetahui perubahan gunatanah yang berlaku sejak 1970-an dan mengaitkannya dengan perubahan ke atas hasil sedimen lembangan sungaidi Barat Daya Pulau Pinang. Kajian ini menggunakan dua kaedah iaitu data cerapan di lapangan dan juga menggunakan kaedah permodelan (USLE) untuk

menganggarkan nilai hasil sedimen terampai dengan integrasinya menggunakan perisian Sistem Maklumat Geografi (GIS). Setelah analisis ramalan hakisan tanah dilakukan, hasil daripada keputusan ini akhirnya akan mengaitkan antara nilai anggaran hasil sedimen terampai dan juga perubahan gunatanah yang berlaku.



Rajah 1.1: Kerangka konseptual kajian



## 1.6 KEPENTINGAN KAJIAN

Kajian ini merupakan kajian perintis dalam konteks pemantauan sedimen di kawasan Barat Daya Pulau Pinang. Kajian seumpama ini diharap dapat meningkatkan kesedaran mengenai perubahan gunatanah membawa kepada perubahan kepada hasil sedimen terampai di kawasan yang pesat membangun seperti Pulau Pinang. Dapatan dari kajian ini terutamanya di kawasan Barat Daya Pulau Pinang yang rata-ratanya boleh dikategorikan sebagai kawasan yang tidak terlalu pesat pembangunan dapat dijadikan sebagai garis dasar dan mana-mana pihak yang terlibat mempertimbangkan kesan daripada pembersihan tanah untuk projek pembinaan yang berlaku.

Selain itu, kajian ini juga telah mengutarakan kaedah pengiraan bagi mendapatkan nilai beban terampai dan hasil sedimen terampai dengan menggunakan kaedah keluk kadaran di lembangan sungai tanpa cerapan (*ungauged catchment*) dan mempunyai kekangan data. Dapatan daripada kajian boleh dijadikan sumber rujukan di masa akan datang.

## **1.7 SUSUNAN TESIS**

Tesis ini bermula dengan memberikan gambaran tentang latar belakang mengenai hakisan tanah dan kesan pertumbuhan penduduk kepada alam sekitar kawasan iklim tropika lembap dalam Bab 1, manakala masalah-masalah hidrologi dan geomorfologi yang berkaitan dengan perubahan gunatanah, khususnya di kawasan tropika dikaji semula dalam Bab 2.

Bab 3 menghuraikan mengenai kawasan kajian manakala Bab 4 menerangkan berkenaan eksperimen dan kaedah yang diguna-pakai dalam kajian ini. Kaedah di lapangan, serta di dalam makmal, pembangunan model dan pendekatan yang diguna pakai dalam menganalisis data yang diperolehi dibincangkan di dalam bab ini.

Bab 5 membincangkan mengenai keputusan serta perbincangan, perubahan gunatanah, kehilangan tanah dan anggaran hasil sedimen bagi tahun 1974-2012. Perkaitan dan perbincangan dijelaskan dalam bab ini.

Tesis ini berakhir dengan kesimpulan dan beberapa cadangan untuk kajian akan datang dalam Bab 6.

## **BAB 2**

### **SOROTAN KARYA : DEGRADASI OLEH HAKISAN TANIH**

#### **2.1 PENGENALAN**

Degradasi tanah merupakan kemerosotan tanah sama ada dari segi fizikal, biologi dan kimia dan perubahan kepada tanah ini menjadikannya kurang berguna kepada manusia dan membawa kepada penurunan kepada fungsi tanah serta ekosistemnya (Wasson, 1987; Kimpe & Warkentin, 1998). Punca degradasi adalah kompleks dan secara keseluruhannya disebabkan oleh tindakan manusia itu sendiri selain dari faktor-faktor semulajadi terutamanya dalam bentuk hakisan tanah (Singer & Warkentin, 1996; Boardman et al., 1990).

Malaysia merupakan negara yang beriklim Khatulistiwa yang didominasi oleh kejadian hujan dan hakisan yang tinggi (Leigh & Low, 1973). Ini menyebabkan Malaysia mengalami kadar hakisan tanah yang tinggi dan mengakibatkan perubahan kepada kualiti air di lembangan sungai (Gregersen et al., 2003). Hakisan tanah oleh air adalah salah satu masalah kemerosotan tanah dan alam sekitar yang agak kritikal zaman moden kini di seluruh dunia (Blaikie & Brookefield, 1987; Yang et al., 2003; Eswan et al., 2001; Guobin et al., 2006). Hakisan dipercepatkan oleh tindakan manusia disebabkan oleh perubahan alam sekitar di peringkat global yang menyebabkan peningkatan aktiviti proses geomorfologi dan fluk sedimen di kebanyakan tempat di

seluruh dunia (Bruijnzeel, 1992; Turner, 1990; Russo, 2015). Hakisan tanah, kehilangan tanah, dan hasil sedimen adalah istilah dengan makna yang berbeza. Seperti diketahui umum, hakisan tanah dan pendedapan oleh air melibatkan penanggalan, pengangkutan dan pendedapan partikel/ butiran tanah oleh kesan titisan hujan dan pergerakan air yang mengalir (Wischmeier & Smith 1978; Meyer & Wischeimeir, 1969). Maklumat ruang dan masa berkenaan air larian, hakisan tanah, dan hasil sedimen sesuatu kawasan boleh memberikan perspektif berguna mengenai ketersediaan air, kadar hakisan tanah, dan kehilangan tanah di dalam sesebuah lembangan sungai (Bocco, 1991).

Kawalan yang berkaitan dengan permukaan tanah termasuklah ketinggian, tanah, perlindungan tumbuh-tumbuhan, dan geologi (Gilley et al.,1990). Pengelasan utama jenis hakisan adalah berdasarkan agen yg menyebabkan hakisan seperti angin atau air. Jenis-jenis utama hakisan tanah adalah hakisan galir, hakisan lembar dan hakisan galur (Poessen et al., 2003). Pengelasan hakisan lembar dan hakisan galir adalah berdasarkan konsep tahap hakisan progresif. Hakisan permukaan, yang mana merupakan penyingkiran tanah dari permukaan, dianggap sebagai fasa pertama proses hakisan, dan kadar hakisan permukaan diandaikan rendah (Poessen et al., 2002;2003). Hakisan tanah berlaku apabila intensiti hujan melebihi kadar penyusupan tanah dan diakui sebagai masalah alam sekitar pada masa kini (Wischmeier & Smith, 1965). Saintis mula menumpukan usaha kearah untuk memahami dan meramalkan hakisan tanah sejak tahun 1920 di Amerika Syarikat berikutan masalah “kubah-debu” pada pertengahan yang membawa kepada masalah hakisan akibat daripada permodenan pertanian pada waktu itu. Hakisan tanah juga merupakan isu yang turut dibahaskan kerana kekurangan

keboleh-pakaian data kuantitatif yang turut merupakan magnitud masalah ini (Lal, 1988).

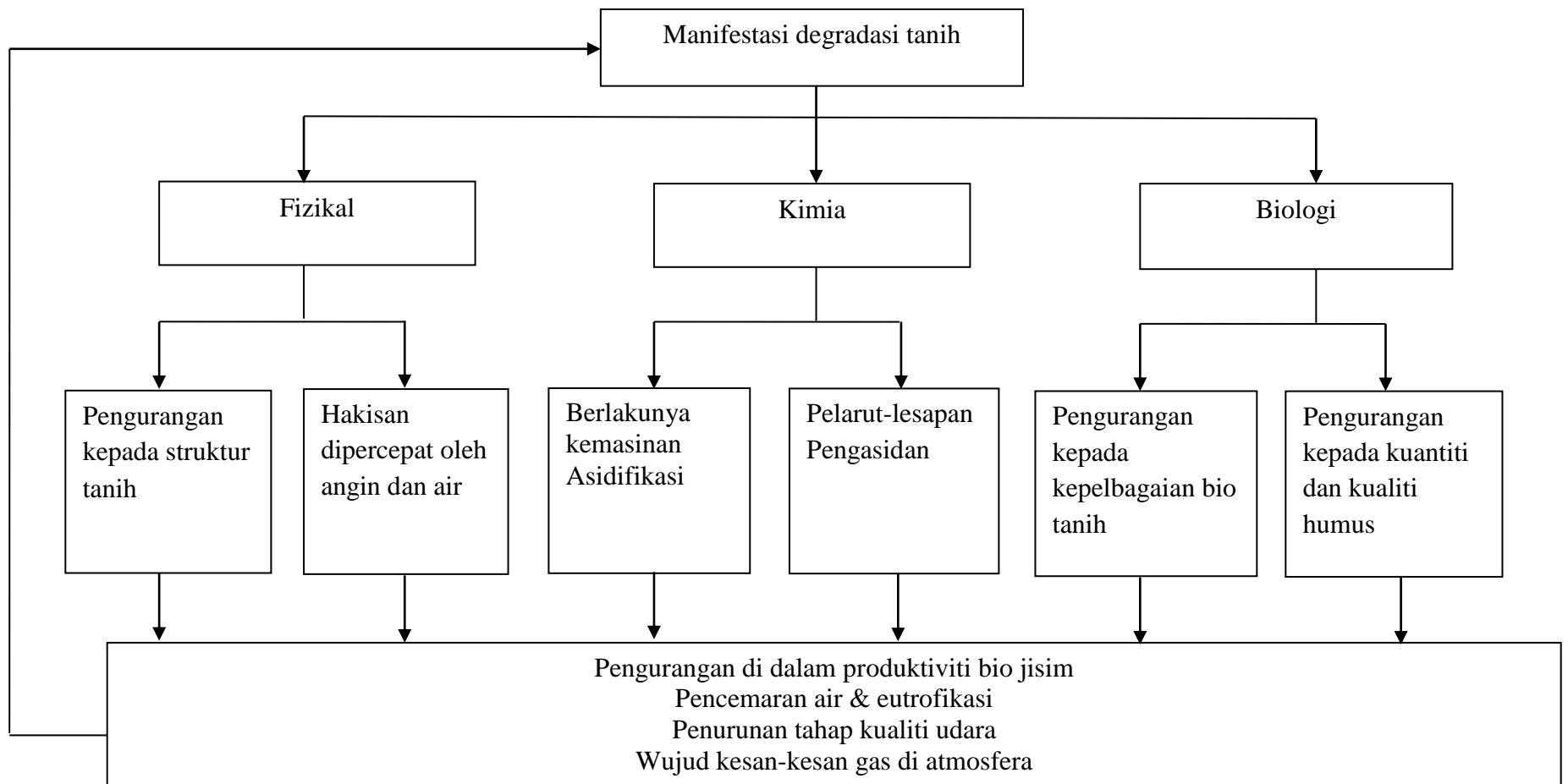
Kajian statistik yang dijalankan menunjukkan bahawa kemerosotan tanah yang disebabkan oleh air adalah yang paling signifikan. Hujan merupakan agen yang paling kuat yang dapat memisahkan zarah tanah dari mana-mana permukaan tanah yang tidak dilindungi oleh kuasa-kuasa magnitud yang tinggi dari kesan hujan di permukaan tanah (Weischmeir & Smith, 1978). Secara semulajadi, hakisan yang berlaku dibahagikan kepada tiga jenis iaitu (Merritt et al., 2003):

- a) Hakisan Geologi – kadar kehilangan tanah lebih perlahan daripada proses pembentukan tanah. Hakisan geologi yang berlaku di atas muka bumi menghasilkan gunung, lurah, gaung, dataran banjir, delta dan lain-lain.
- b) Hakisan pecutan – kadar kehilangan tanah lebih cepat daripada pembentukan tanah dan biasanya di dorong oleh aktiviti manusia. Ia melibatkan tanah peroi dan selalunya dikaitkan dengan kawasan pertanian. Ini termasuklah hakisan kepingan, di dalam alur-alur kecil dan mungkin melibatkan lurah-lurah yang kecil.
- c) Hakisan alur yang berlaku di dalam alur sungai disebabkan oleh aliran air yang bertindak ke atas tebing atau dasar sungai.

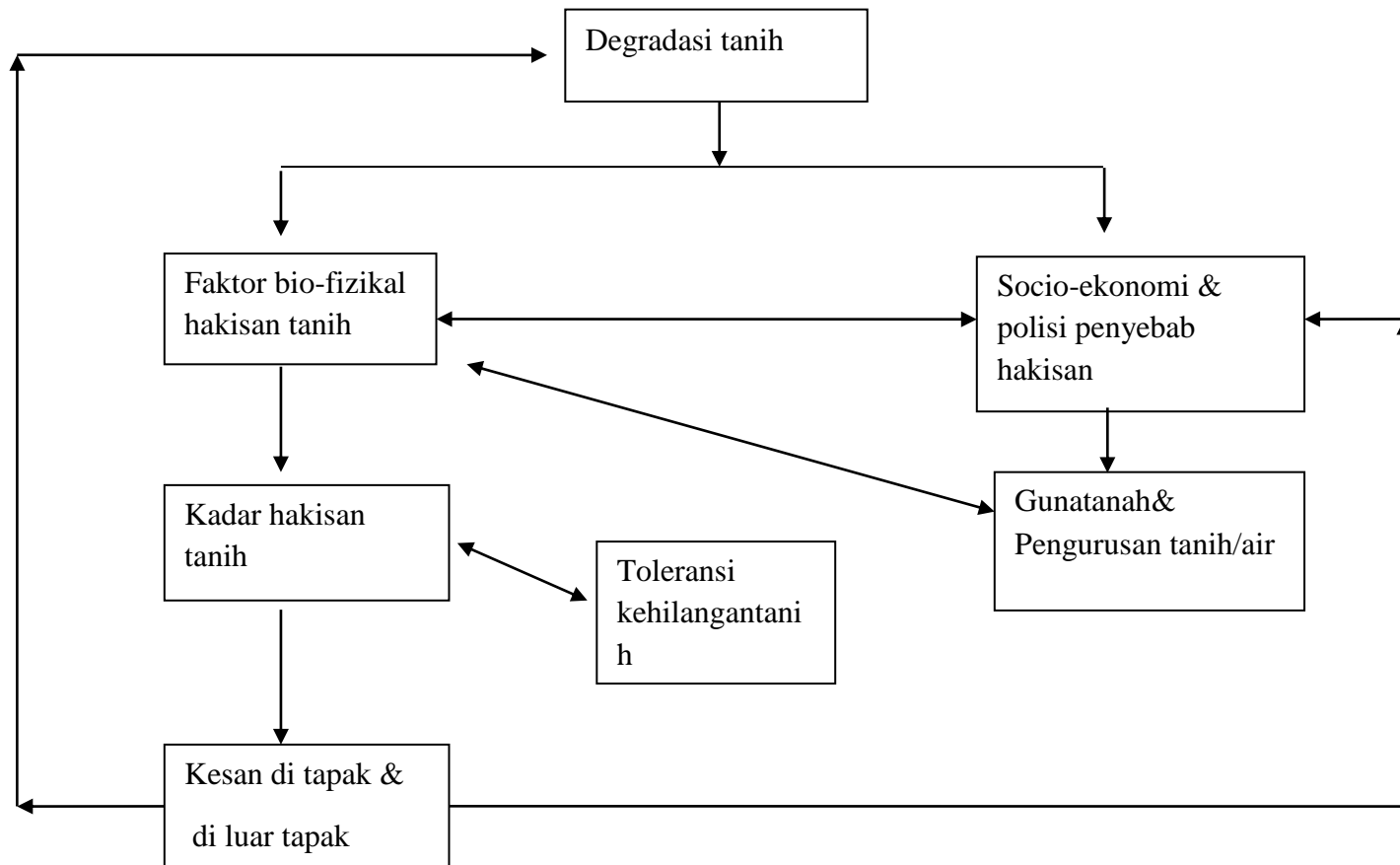
Akibat dari hakisan ini, beban sedimen akan masuk ke dalam sungai dan diangkut serta dimendapkan di kawasan rendah. Bahan yang diangkut oleh air dikelaskan kepada tiga jenis iaitu:

- a) Beban larutan – hasil dari tindakan luluhawa kimia yang melarutkan galian-galian apabila bertindak dengan air yang merupakan asid lemah.
- b) Beban ampaian – beban yang pejal tetapi berbiji seperti saiz pasir, kelodak dan lumpur terapung di dalam air tanpa menyentuh dasar sungai di sepanjang pergerakannya.
- c) Beban dasar – merupakan bahan-bahan yang lebih besar dan berat daripada pasir yang bergerak secara meloncat, bergolek di dasar sungai.

Degradasi tanah adalah proses biofizikal tetapi diburukkan lagi oleh faktor-faktor sosio-ekonomi dan politik. Terdapat tiga proses utama degradasi iaitu fizikal, kimia dan biologi (Rajah 2.1). Proses fizikal tanah melibatkan penurunan dalam struktur tanah yang membawa kepada peningkatan dalam ketumpatan pukal, mengurangkan pengurangan jumlah dan makro-porositi dalam penyusupan, peningkatan dalam aliran dan diburukkan lagi oleh hakisan oleh air dan angin. Kadar proses degradasi tanah ini dikawal oleh pelbagai faktor semula jadi dan faktor antropogenik seperti gunatanah, pengurusan tanah, pertanian/sistem tanaman, pemilikan tanah, pemasaran dan sokongan institusi (Lal, 2001). Sementara itu, faktor sosial, sebab-sebab ekonomi dan dasar mempengaruhi terutamanya dari segi jenis guna tanah dan pengurusan. Sebab-sebab ini kemudian mempengaruhi kadar hakisan tanah yang menentukan tahap degradasi tanah (Rajah 2.2) (Lal, 2001).



Rajah 2.1: Gambaran/manifestasi degradasi tanah (diubahsuai dari Lal, 2001)



Rajah 2.2: Interaksi di antara faktor bio-fizikal dan sosio-ekonomi dan menyebabkan kadar hakisan tanah dan tahap degradasi tanah (diubahsuai dari Lal, 2001)



## **2.2 PROSES-PROSES HAKISAN TANIH**

Di kawasan tropika, proses hakisan tanah lebih giat berlaku berbanding di kawasan iklim sederhana dan ia telah pun membawa tekanan dan menyumbang kepada masalah alam sekitar (Yang et al., 2003). Benua Asia dilaporkan mempunyai kadar hakisan tertinggi dengan kehilangan sedimen secara purata tahunan kira-kira  $166 \text{ tan/km}^2$  berbanding  $47.43$  dan  $93 \text{ tan/km}^2$  masing-masing bagi kawasan Afrika, Eropah dan Amerika Selatan (El-Swaify et al., 1982; Doughlas, 1994). Hakisan tanah merupakan dua fasa proses yang terdiri daripada penanggalan partikel dari jisim tanah dan diangkut oleh agen yang menyebabkan hakisan seperti air yang mengalir (Morgan, 1986). Kedua-dua fasa berkait rapat kepada kitaran hidrologi dan kedua-duanya dipengaruhi oleh pelbagai faktor. Disebabkan pelbagai faktor, maka ianya juga berbeza melalui ruang dan masa (Thornes, 1980).

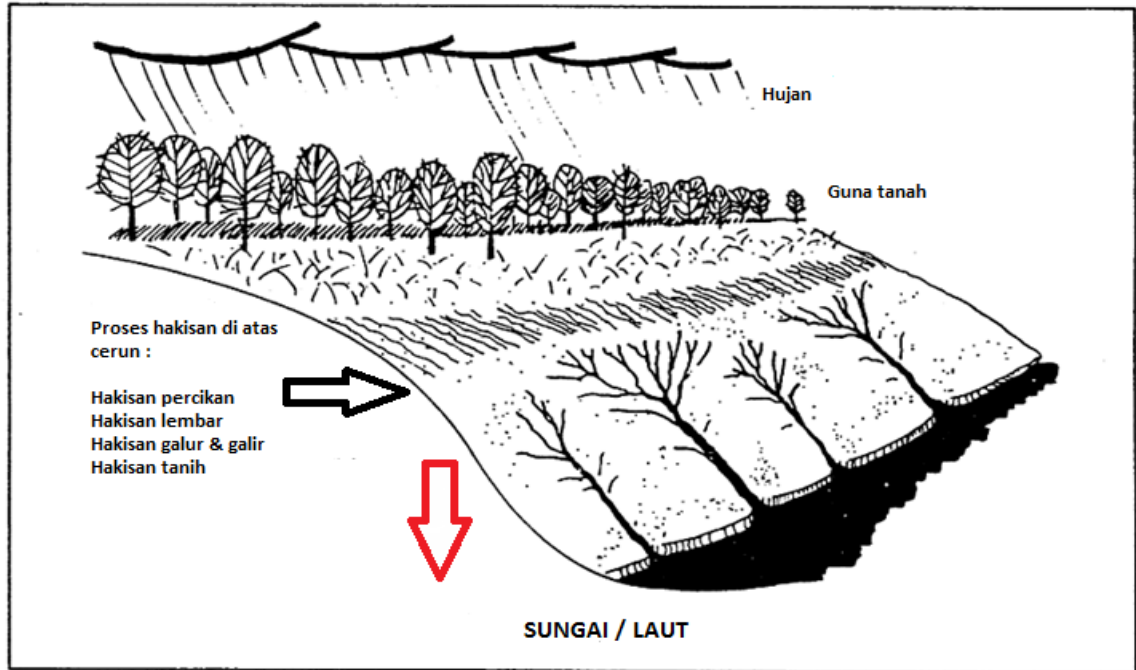
Penanggalan zarah tanah dari permukaan tanah adalah hasil daripada kelebihan hujan dan aliran larian permukaan. Tegasan ricih tempatan yang kuat di permukaan tanah oleh kesan titisan hujan, membawa kepada pemecahan daya celahan yang memegang zarah tanah (Loch & Silburn, 1996). Apabila kadar hujan melebihi kadar penyusupan permukaan dan kapasiti penyimpanan tanah mula meleset, aliran permukaan berlaku, yang terdiri daripada lapisan air yang sangat nipis (Bridges & Oldeman, 1999). Aliran permukaan menyebabkan tegasan ricih ke atas permukaan tanah yang mana jika ia melebihi kekuatan kepaduan tanah, ia akan memberi keputusan kepada penanggalan sedimen (Meritt et al., 2003).

Jumlah partikel tanah yang terhakis dan diangkut adalah dikawal oleh kapasiti percikan air dan aliran air, seterusnya membawa partikel tanah bergerak menuruni cerun (Lal, 1990). Oleh itu, pemendapan partikel tanah yang terhakis mungkin berlaku bergantung kepada organisasi ruang permukaan, kapasiti aliran pengangkutan dan jika berlaku pengurangan halaju air, pemendapan sedimen terampai mungkin berlaku. Ellison & Ellison, (1947) mencadangkan empat proses iaitu penanggalan yang disebabkan oleh kesan titisan hujan, pengangkutan oleh percikan hujan, penanggalan oleh aliran permukaan dan pengangkutan oleh aliran permukaan.

Terdapat dua konsep yang biasa digunakan untuk menerangkan magnitud fluks sedimen iaitu; kapasiti pengangkutan dan kapasiti penanggalan. Kapasiti pengangkutan ditakrifkan sebagai jumlah maksimum sedimen yang mengalir yang di bawa tanpa berlakunya sebarang pemendapan. Sebaliknya, kapasiti penanggalan adalah kadar maksimum yang diandaikan berlaku apabila tiada sedimen di dalam air (Nearing et al., 1994). Kedua-dua konsep ini adalah berkaitan dan keadaan hakisan boleh berlaku sama ada pengangkutan terhad atau penanggalan terhad, bergantung kepada yang mana menjadi faktor yang menghadkan. Dalam regim penanggalan terhad (atau penanggalan-hakisan terhad), kapasiti penanggalan tanah adalah lebih rendah daripada kapasiti pengangkutan (Van Rompaey et al., 2003). Dalam hal ini, adalah mungkin tiada tanah akan tertanggal apabila tegasan ricih air mengalir dan lebih rendah daripada tegasan ricih kritikal tanah.

Sebaliknya, rejim pengangkutan terhad berlaku jika kapasiti penanggalan adalah lebih besar daripada kapasiti pengangkutan (Harmon & Doe, 2001). Dalam kes ini, bekalan partikel tanah yang banyak dan pengangkutan sedimen dikawal oleh kekuatan aliran air, seterusnya pemendapan berlaku apabila fluks pengangkutan menjadi perlahan. Kuasa aliran darat dapat mengatasi kekuatan ricih tanah, dan partikel akan diangkut bersama. Butiran yang terpisah oleh tindakan hujan akan diangkut oleh air larian permukaan dan partikel akan diangkut apabila halaju dan pergolakan aliran darat adalah mencukupi untuk mengatasi daya padu atau graviti partikel tanah tersebut (Sinun et al., 1992). Perbezaan dalam saiz, bentuk dan ketumpatan partikel tanah akan memberi kesan kepada kadar pengangkutan dan jarak yang diangkut sebelum berlakunya proses pemendapan. Walaupun partikel tanah liat adalah lebih sukar untuk ditanggalkan berbanding dengan pasir, partikel tanah liat adalah lebih mudah diangkut selepas proses penanggalan (Thornes, 1980).

Faktor-faktor yang mempengaruhi kadar penanggalan ialah kecerunan cerun, keadaan permukaan dan perlindungan tumbuh-tumbuhan. Perlindungan tumbuh-tumbuhan membantu dalam mengurangkan hakisan dengan bertindak sebagai rintangan kepada tindakan percikan hujan. Empat proses utama kawalan hakisan adalah *erosiviti* (kehakisan), *erodibiliti* (kebolehhakisan tanah), sifat perlindungan tumbuhan dan kecerunan permukaan tanah (Hudson, 1977; Foster, 1981; Morgan, 1986). Ilustrasi proses hakisan sesebuah lembangan sungai di paparkan menerusi Rajah 2.3.



Rajah 2.3: Proses di atas cerun.  
 (sumber: North Carolina Department of Natural Resources and  
 Community Development. 1988. Erosion and Sediment Control Planning and  
 Design Manual)

### **2.3 FAKTOR MEMPENGARUHI HAKISAN**

Proses fizikal tanah melibatkan penurunan dalam struktur tanah yang membawa kepada peningkatan dalam ketumpatan pukal, penurunan dalam jumlah dan makro-porositi, pengurangan penyusupan, peningkatan air larian, dan kecenderungan hakisan oleh air dan angin (Ouyang et al., 2010). Kadar proses degradasi tanah adalah dikawal oleh banyak faktor semula jadi dan antropogenik. Faktor semula jadi termasuk tanah, iklim, tumbuh-tumbuhan dan ciri-ciri eko-wilayah lain. Faktor antropogenik adalah penggunaan tanah, pengurusan tanah, pertanian/sistem tanaman, pemilikan tanah, pemasaran dan sokongan institusi (Lal, 2001).

Berdasarkan Rajah 2.4, kesan daripada proses hakisan adalah pengubahsuaian oleh persekitaran biofizikal yang terdiri daripada tanah, iklim, rupa dan penutup bumi, serta interaksi antara mereka. Kerentanan tanah kepada agen hakisan, keboleh-hakisan tanah, ditentukan oleh ciri tanah yang wujud contohnya tekstur, struktur, kandungan bahan organik, mineral tanah liat, dan pengekal air dan penghantaran hartanah. Keboleh-hakisan tanah adalah satu ciri yang dinamik dan dipengaruhi oleh faktor-faktor alam sekitar terutamanya iklim termasuk taburan saiz butiran dan keamatan hujan, jumlah dan kekerapan hujan, jumlah aliran, dan halaju angin. Selain itu, faktor persekitaran bukan-iklim menjejaskan keboleh-hakisan adalah tindak balas kimia yang membawa kepada berlakunya proses luluhawa. Ciri-ciri rupa bumi yang memberi kesan yang besar kepada kadar hakisan tanah oleh air dan graviti. Ciri-ciri rupa bumi yang penting termasuk kecuramanan cerun, panjang, aspek dan bentuk (Lal, 2001).