

## CIRI HIDROLOGI DAN HAKISAN TEBING SUNGAI DI SUNGAI LENDU, ALOR GAJAH MELAKA

*Mohd Ekhwan Hj. Toriman dan Haryati Che' Lah  
Pusat Pengajian Sosial, Pembangunan dan Persekitaran,  
Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 Bangi, Selangor*

### Abstrak

Status hidrologi dan hakisan tebing sungai telah dikaji di Lembangan Sungai Lendu, Melaka. Data dari stesen Batu Berendam telah digunakan bagi menganalisis status hidrologi di kawasan berkenaan. Selain itu, hakisan tebing sungai turut dikaji menggunakan teknik hakisan pin di lapangan. Data kemudiannya dianalisis menggunakan statistik mudah Smith. Hasil analisis hidrologi mendapati Sungai Lendu berada di dalam wilayah hidrologi yang diklasifikasikan sebagai  $L_3W_1$  dengan Hujan (P)- Potensi sejat peluhan (PE) di bawah 500 mm setahun. Potensi air larian di kawasan kajian ialah 466 mm. Purata hujan tahunan bagi tempoh 1970 hingga 2002 ialah 1999 mm iaitu di bawah daripada purata hujan tahunan bagi Semenanjung Malaysia. September, Oktober dan November merupakan paling banyak menerima hujan setiap tahun, masing-masing pada kadar 208 mm, 205 mm dan 242 mm. Sejatpeluhan potensi dikira menggunakan rumus Thornwaithe mencatatkan nilai minima pada bulan November (119 mm), manakala nilai maksima ialah Februari (136 mm). Tren mengikut plot menunjukkan jumlah hakisan tebing tertinggi direkodkan pada plot 1 (78.84 cm), diikuti plot 3 (43.5 cm) dan plot 2 (30.06 cm). Pada keseluruhannya, hakisan tebing sungai yang berlaku bagi ketiga-tiga plot adalah sebanyak 152.4 cm- purata hakisan sebanyak 30.4 cm telah berlaku dalam tempoh masa satu bulan sepanjang kajian dijalankan atau kira-kira  $3.65\text{m thn}^{-1}$ . Plot 2 mencatatkan nilai  $r^2$  yang tinggi di antara kadar hakisan tebing sungai dengan hujan, iaitu masing-masing 78 peratus dan 51 peratus. Pembinaan struktur kawalan tebing sungai adalah alternatif mengurangkan hakisan tebing sungai. Namun begitu, ianya memerlukan penyelenggaraan berkala khususnya semasa luahan banjir.

Kata kunci: *status hidrologi, hakisan tebing sungai, air larian, pengurusan hakisan sungai*

### Abstract

Hydrological status and river bank erosion were studied in Lendu River catchment, Melaka. Data obtained from Batu Berendam climatological station was used to analysed hydrological status at the study area. Bank erosion measurement was also carried out using erosion pin technique. Data then were analysed using Smith's simple statistics. Results from hydrological analyses reveal that Lendu River is classified as  $L_3W_1$  hydrological region with Precipitation (P) – Potential Evapotranspiration (PE) is below 500 mm per annum. Meanwhile, potential runoff was estimated at 466 mm and average

rainfall for a period from 1970 to 2002 was calculated at 1999 mm, a value below the national average for Peninsular Malaysia. The months of September, October and November received maximum rainfall at 208 mm, 205 mm and 242 mm, respectively. Using Thronwaithe's equation, the minimum and maximum potential evapotranspiration occurred in November (119 mm) and February (136 mm). Using the erosion pin technique, highest erosion was recorded at Plot 1 (78.84 cm), followed by Plot 3 (43.5 cm) and Plot 2 (30.36 cm). Overall, total erosion recorded over the study period was 152.4 cm- an average of 30.4 cm per month or 3.65m year<sup>-1</sup>. Analysis using Smith's simple regression showed that rainfall and river discharge are the most significant parameters in influencing river bank erosion. The construction of river bank structure is an alternative to control river bank erosion in Lendu River. However, this approach needs regular maintenance particularly during the flood events.

*Keywords: hydrology status, riverbank erosion, water runoff, river erosion management*

## PENGENALAN

Pengklasifikasian lembangan sungai mengikut wilayah hidrologi telah lama dijalankan di Malaysia melalui Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (JPS). Pengklasifikasian ini penting bagi mendapatkan maklumat dan ciri yang boleh digunakan untuk pembangunan dan pengurusan lembangan sungai. Bagi sungai yang tidak stabil akibat hakisan dan pemendapan, kerja mitigasi dan penstrukturan telah dimulakan bagi memastikan keseluruhan sistem lembangan tidak mengalami kepincangan. Walaupun hakisan sungai dilihat normal bagi kebanyakan sungai di Malaysia, hakisan besar-besaran mampu mengubah pelan dan geometri sungai di samping memusnahkan hidupan di bahagian sisi sungai. Oleh itu, kajian mengenainya telah banyak dijalankan di sungai-sungai seluruh dunia terutamanya di segmen bahagian tengah, iaitu segmen yang paling banyak dikenal pasti mengalami masalah hakisan tebing yang kritikal (Milne 1982; Lawler 1984; 1992; 1993; Thorne et al. 1987; Mohd Ekhwan 1997). Kebanyakan kajian yang dilaksanakan bukan sahaja melibatkan kerja di lapangan tetapi juga pengumpulan data dan maklumat yang berkaitan daripada aspek hidrologi lembangan, iklim dan aktiviti guna tanah di bahagian hulu dan tengah sungai.

Makalah ini membincangkan status hidrologi Sungai Lendu, Alor Gajah terutamanya daripada aspek klimatologi dan perilaku luahan. Seterusnya, perbincangan akan ditumpukan kepada kegiatan sungai khususnya proses hakisan tebing di beberapa

segmen sungai yang dikaji. Makalah ini turut membincangkan aspek kawalan hakisan tebing sungai melalui pendekatan struktur yang telah dilaksanakan oleh JPS.

## **LEMBANGAN SUNGAI DAN WILAYAH HIDROLOGI**

Pengurusan dan perancangan sungai (termasuk juga sumber air) yang berkesan bergantung kepada kefahaman pentadbir, jurutera dan ahli perancang mengenai ciri hidrologi sesebuah lembangan. Kebanyakan proses dan maklum balas yang berkaitan dengan kerja sungai banyak dicirikan oleh letakan lembangan sungai di dalam wilayah hidrologi yang berbeza. Oleh itu, semenjak 1970-an, JPS, iaitu agensi kerajaan yang bertanggung jawab terhadap pembangunan dan pengurusan sungai di Malaysia telah berusaha mengklasifikasikan Semenanjung Malaysia kepada 66 wilayah hidrologi yang berbeza daripada dua aspek iaitu (i) iklim tempatan (taburan hujan tahunan ( $P$ ) dan potensi sejat peluhan ( $PE$ )), dan (ii) struktur geologi (nilai keporosan batuan dan faktor litologi). Kedua-dua aspek ini diringkaskan seperti di bawah (Jadual 1).

Secara umum, kombinasi iklim dan geologi mewujudkan wilayah hidrologi yang tidak seragam daripada aspek taburannya di Semenanjung Malaysia. Namun begitu, wilayah  $W_4$  dicirikan oleh lokasinya yang terletak di pantai timur Semenanjung Malaysia, manakala  $W_1$  dan  $W_2$  pula di pantai barat. Taburan ini lazimnya sangat berkait rapat dengan taburan hujan tahunan yang banyak direkodkan di pantai timur berbanding pantai barat Semenanjung Malaysia. Klasifikasi wilayah hidrologi secara tidak langsung merentasi sempadan lembangan saliran. Umpamanya, Lembangan Sungai Pahang mempunyai tiga wilayah hidrologi iaitu  $W_1$ ,  $W_2$  dan  $W_3$ . Keadaan ini menyebabkan potensi air larian berbeza-beza mengikut sub-lembangan.

**Jadual 1 Klasifikasi wilayah hidrologi di Malaysia**

<b>Unit</b>	<b>Iklm tempatan</b>	<b>Unit</b>	<b>Struktur geologi</b>
W1	P-PE di bawah 500 mm setahun	L1	Batuan besar dan kasar dengan ciri granit
W2	P-PE antara 500 mm -1000 mm setahun	L2	Batu kapur
W3	P-PE antara 1000 mm – 1500 mm setahun	L3	Batuan pasir dan kerikil
W4	P-PE > 1500 mm setahun	L4 & 5	Batuan porous dengan deposit liat dan pasir halus

Nota:

- a) *Nilai potensi air larian (PR) digunakan bagi mengklasifikasikan iklim tempatan sesebuah wilayah.*
- b) *PR diperolehi melalui rumus P-PE.*

Sumber: disesuaikan daripada Law & Ahmad Jamaluddin (1989)

### **PROSES HAKISAN TEBING SUNGAI**

Secara semula jadi, sungai mencapai keseimbangan dari segi proses dan tindakbalas melalui kerja hakisan, pengangkutan dan pemendapan sungai. Proses untuk mencapai keseimbangan ini sangat berkait rapat dengan faktor masa sama ada berlaku dengan cepat, sederhana cepat atau perlahan. Kerangka masa yang wujud menyebabkan ramai pengkaji terpaksa menggunakan pelbagai metod untuk menganalisis, mencerap dan menjalankan penyelidikan di lapangan dengan harapan memperolehi satu tren hakisan pada kerangka masa yang ditetapkan tadi. Oleh itu, banyak kajian yang dijalankan mempunyai metod dan pendekatan yang pelbagai bersesuaian dengan proses hakisan tebing sungai yang berlaku.

Satu sungai yang sederhana besar (order sungai 3, 4 atau 5) mungkin menjalankan kerja hakisan lebih cepat berbanding alur sungai yang lebih kecil (< order 3). Oleh itu, berdasarkan kerangka masa, kajian hakisan tebing sungai boleh dibahagikan kepada beberapa metod, iaitu a) Jangka masa panjang - bukti sedimentologi dan bukti botanik; b) Jangka masa sederhana - ukuran berulang planimetrik dan ukuran berulang keratan rentas; dan c) jangka masa pendek – kaedah fotogrametri, pin hakisan, foto pin hakisan elektronik.

Di Malaysia, kajian hakisan tebing sungai secara khusus tidak banyak dijalankan berbanding di negara lain (Jadual 2). Kebanyakan kajian yang dijalankan berkisar kepada

hakisan sungai secara umum menggunakan anggaran kelebatan hujan, konsentrasi sedimen dan luahan sungai (misalnya Douglas 1968; Muhammad Barzani et. al. 2005; Mohd Ekhwan 2005; 2006). Berbanding negara luar, kajian mengenai hakisan tebing sungai telah lama dipelopori sejak awal 1970-an, terutamanya di United Kingdom dan Amerika Syarikat (Jadual 3).

Jadual 2 Beberapa kajian hakisan tebing sungai di Malaysia

Bil	Pengkaji	Lokasi	Metodologi	Kadar hakisan (m thn <sup>-1</sup> )
1	Mohd Ekhwan & Large (2004)	Sungai Semenyih	GIS & Hakisan pin	0.7-1.5
2	Mohd Ekhwan (2003)	Tengah Sungai Langat	GIS & Hakisan pin	1.3-2.4
3	Mohd Ekhwan & Noorazuan (2003)	Sepanjang Sg. Langat	GIS	1.5-2.8
4	Mohd Ekhwan (2002)	Sungai Langat	Gambar foto & pin	1.6-2.3
5	Mohd Ekhwan & Kadaruddin (2000)	Sungai Johor	Pin & aerial foto	2.3-3.6
6	Aminuddin, et al. (1999)	Sungai Pari	Pengukuran keratan rentas sungai	-
7	Rachagan & Dorall (1976)	Sungai Golok	Hakisan pin	-

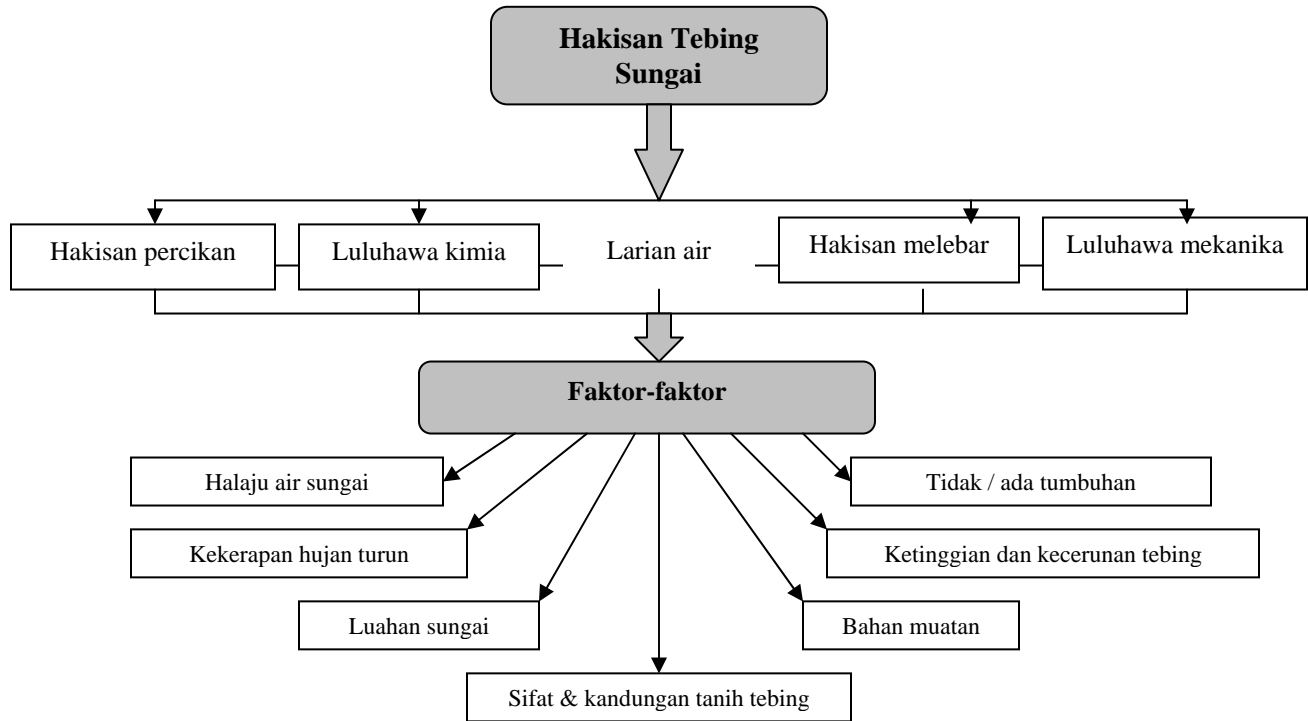
Jadual 3 Contoh kajian hakisan tebing sungai di negara luar

Bil	Pengkaji	Lokasi	Metodologi	Kadar hakisan (m thn <sup>-1</sup> )
1	Handy (1972)	Lowa, AS	Rekod hidrografik	3.0-19.0
2	Jackson (1976)	Wabash, AS	Rekod hidrografik	0.0-10.0
3	Murgatroyd & Ternan (1983)	Devon, England	Hakisan pin	<0.03
4	Stott et al (1986)	Kirkton, Scotland	Hakisan pin	0.016-0.076
5	Gilvier & Winterbottom (1998)	Tay, Scotland	GIS	2.7-4.3

Dari segi teknikal, hakisan tebing boleh berlaku disebabkan oleh satu faktor atau kombinasi daripada faktor berikut:

- a) Kehilangan partikel tanah pada struktur tebing oleh arus atau aliran sungai
- b) Gelongsoran disebabkan peningkatan cerun tebing disebabkan hakisan semulajadi atau kerja-kerja kejuruteraan
- c) Hakisan kautan di bawah kaki tebing sungai disebabkan oleh turbulen arus dan hakisan sisi menyebabkan struktur atas tebing runtuh
- d) Kesotan tanah di bahagian atas tebing disebabkan peningkatan kandungan air semasa banjir

Komposisi bahan tebing sungai sangat mempengaruhi proses hakisan tebing sungai. Sungai yang terdiri daripada bahan pasir (tidak liat) adalah lebih mudah mengalami hakisan tebing berbanding sungai berliat yang terdiri daripada bahan liat. Kombinasi faktor hakisan tebing sungai boleh diringkaskan dalam Rajah 1 di bawah.



Rajah 1 Mekanisme hakisan tebing sungai dan faktor mempengaruhinya

### KAWASAN DAN METODOLOGI KAJIAN

Sungai Lendu adalah di antara sungai utama di utara Negeri Melaka. Sungai ini mengalir melalui Kampung Air Pa’abas dalam kawasan Pihak Berkuasa Tempatan Alor Gajah, Melaka. Berdasarkan kepada maklumat daftar sungai Negeri Melaka pada tahun 1997 hingga 2003 yang dikeluarkan oleh JPS Alor Gajah, Melaka, panjang Sungai Lendu ialah 16.5 kilometer (panjang dikira mengikut likuan sungai). Purata lebar sungai di muara ialah 20 meter manakala purata kedalaman sungai ialah lima meter. Peringkat hulu Sungai Lendu bermula dari Bukit Hantu, Lendu dan hilirnya berada di Kampung Durian

Terung, Air Pa'abas. Hilir Sungai Lendu bertemu dengan Sungai Buluh yang terletak di Kampung Padang Kambing bersempadan dengan Kampung Durian Terung, menuju ke Kampung Sungai Buluh. Maklumat morfometri Sungai Lendu di tunjukkan dalam Jadual 4 manakala Rajah 2 menunjukkan lokasi Sungai Lendu.

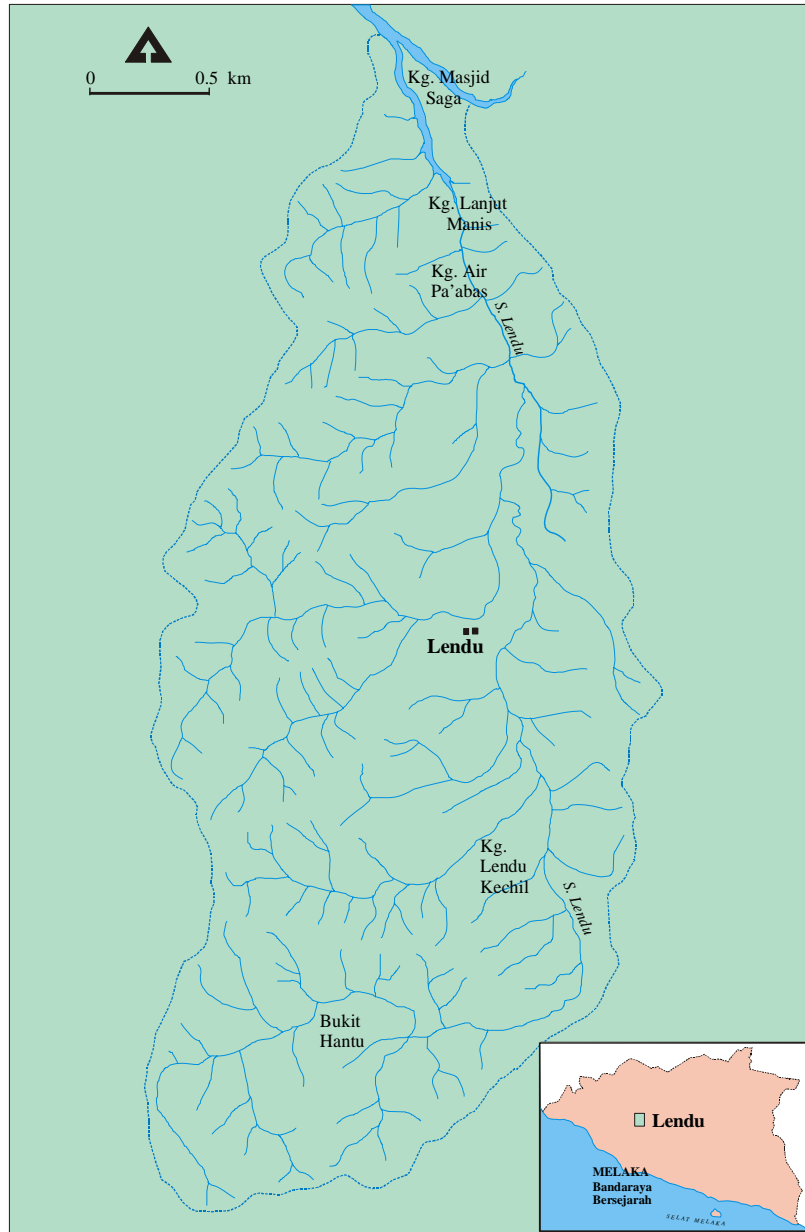
Terdapat tiga plot pilihan yang menjadi tumpuan kajian. Plot 1 dan Plot 3 terletak di likuan sungai manakala Plot 2 pula terletak di kawasan aliran sungai yang lurus. Plot 1 mempunyai tebing yang agak terdedah kerana kurang dilitupi oleh tumbuh-tumbuhan, dan mempunyai cerun yang agak curam. Manakala bagi Plot 2 pula, mempunyai tebing yang dilitupi oleh tumbuh-tumbuhan seperti rumput, tumbuhan kekacang, rumput duri semalu dan juga pokok-pokok keladi. Plot ini juga agak terdedah kepada pancaran sinar matahari dan juga impak titisan hujan. Plot 3 pula mempunyai cerun yang agak terlindung kerana dilitupi oleh rumput dan tumbuhan besar di atas tebing, dan plot yang agak redup dari pancaran matahari. Pada keseluruhannya, ketiga-tiga ciri plot kajian ini dapat dijelaskan melalui Jadual 5.

Struktur batuan di kawasan kajian terdiri daripada batuan jenis mesozoic, palaeozoic muda dan batuan igneus yang terdiri daripada batuan granit. Tanah di kawasan kajian adalah dari jenis Siri Medang dan terletak di atas teren rata dengan kecerunan 0° hingga 2°.

Jadual 4 Maklumat morfometri Lembangan Sungai Lendu

Lembangan Sungai Lendu						Kilometer (km)		
Panjang lembangan mengikut ukuran diameter						11.9 km		
Lebar lembangan						3.65 km		
Lembangan Saliran	Orde sungai					Panjang sungai (km)	Keluasan lembangan (km persegi)	Kepadatan saliran (km / km persegi)
	1	2	3	4	5			
Lembangan Lendu	146	39	12	4	1	16.5	39.5	0.4

Sumber: Peta topo Negeri Melaka Siri L 7030 Edisi 1- PPNM, Lembar 3954



Rajah 2 Lokasi Sungai Lendu, ALor Gajah Melaka



Jadual 5 Ciri-ciri fizikal plot hakisan di Sungai Lendu

Ciri-ciri plot	PLOT 1	PLOT 2	PLOT 3
Lokasi	N 02° 23' 30.4" E 102° 10' 26.5"	N 02° 23' 32.8" E 102° 10' 32.8"	N 02° 23' 29.2" E 102° 10' 27.3"
Letakan	- Di likuan sungai - Berpasir di dasar	-Bahagian lurus -kelikir agak kasar, berbatu besar di dasar.	-Di likuan sungai -Berpasir halus
Panjang plot kajian	5 meter	5 meter	2 meter
Anggaran ketinggian tebing	1.8 meter	1.5 meter	1.2 meter
Panjang alur plot	25 meter	30 meter	29 meter
Panjang lembah	20 meter	-	24 meter
Sudut plot	140 darjah	Lurus 180 darjah	120 darjah

Maklumat fizikal bagi menentukan status hidrologi di kawasan kajian diperolehi dari Stesen Kajucaaca Batu Berendam, Melaka iaitu stesen kajucaaca paling hampir dengan kawasan kajian. Rekod hidrologi dari tahun 1951 sehingga 2000 telah dikumpul dan dianalisis bagi menentukan wilayah hidrologi kawasan berkenaan. Anggaran potensi sejat peluhan ( $PE$ ) bagi kawasan kajian dikira melalui rumus *Thornwaithe* iaitu:

$$ET_p = 1.63N [10 T/I]^I \text{ di mana}$$

(1)  $N$  = Panjang hari mengikut faktor  $N$ ;  
 $T$  = Purata suhu bulanan ( $^{\circ}C$ );  
 $I$  = Jumlah indeks haba bulanan.

Data hujan ( $P$ ) dan  $PE$  digunakan bagi memperoleh nilai potensi air larian ( $PR$ ).  $PR$  adalah parameter utama bagi menentukan wilayah hidrologi di kawasan kajian sebagaimana yang telah dinyatakan dalam Jadual 1. Data yang dianalisis kemudiannya dibandingkan dengan siri *Water Resources Publication*, JPS.

Kaedah penggunaan pin hakisan digunakan dalam penyelidikan ini kerana kaedah ini merupakan cara yang paling sesuai, murah dan dapat menganggarkan kadar hakisan tebing yang berlaku dengan lebih jelas. Panjang pin hakisan ialah 35 cm dengan diameter 4 mm. Pin hakisan ini akan dicucukkan ke sisi tebing sungai dalam keadaan melintang selari dengan kedudukan tebing sungai. Jarak yang digunakan bagi setiap pin hakisan

adalah 0.5 meter. Bacaan akan diambil pada pin hakisan dengan menggunakan pita ukur mini setiap kali cerapan dibuat. Pengiraan purata hakisan dikira berdasarkan rumus berikut:

$$\text{Purata hakisan (cm)} = \frac{\Sigma \text{hakisan pada sekali cerapan (cm)}}{\text{Bilangan pin yang terhakisan}} \quad (2)$$

Dalam kajian ini, penganalisan statistik deskriptif adalah menggunakan perisian *Smith's Statistical Package (SSP)* dan *Microsoft Windows Excel*.

## HASIL KAJIAN DAN PERBINCANGAN

### a) Status Hidrologi

Status hidrologi di kawasan kajian dicirikan oleh hujan tahunan yang sederhana. Stesen kajicuaca Batu Berendam merekodkan min suhu bulanan antara 29° C (November) ke 34°C (Mac) bagi tempoh 33 tahun (1970-2002). Rekod hujan menunjukkan bulan September, Oktober dan November paling banyak menerima hujan setiap tahun, masing-masing pada kadar 208 mm, 205 mm dan 242 mm. Purata taburan hujan bulanan bagi tahun 1970-2002 berada dalam julat 91 mm (Januari) ke 242 mm (November).

Anggaran *PE* yang dikira menggunakan rumus (1) menunjukkan jumlah *PE* tahunan sebanyak 1533 mm. Nilai minima dicatatkan pada bulan November (119 mm) manakala nilai maksima ialah Februari (136 mm).

Air larian (*r*) bulanan menunjukkan dua bulan iaitu Januari dan Februari adalah berada pada nilai defisit manakala bulan-bulan lain, *r* adalah di antara 17 mm (Mac) hingga 123 mm (November). Status hidrologi bagi kawasan kajian diringkaskan dalam Jadual 6 di bawah.

Jadual 6 Statistik purata hujan, suhu, potensi sejat peluhan dan anggaran air larian di kawasan kajian, 1970-2002

Parameter	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D	$\Sigma$
Hujan (P)	91	95	148	182	170	166	173	174	208	205	242	145	1999
Sejatpeluhan (PE)	125	136	131	134	129	128	130	128	124	126	119	123	1533
Suhu °C(T)	30	33	34	32	33	32	33	32	30	31	30	29	
Air larian (r)	-30	-33	17	48	41	38	43	46	84	69	123	22	

Di kawasan kajian, hujan tahunan yang dicatatkan bagi tempoh tersebut ialah 1999 mm. Jumlah ini adalah di bawah daripada purata hujan tahunan bagi Semenanjung Malaysia, iaitu 2400 mm (Law & Ahmad Jamaluddin 1989). Jumlah ini jika dibandingkan dengan wilayah hidrologi lain menunjukkan jumlah yang paling sedikit menerima hujan. Umpamanya Lembangan Lui (2375 mm), Lembangan Tekam (2000 mm) dan Lembangan Linggi (2218 mm).

Daripada aspek *PE*, didapati nilainya tidak jauh dengan nilai yang diperolehi oleh JPS (*Water Resources Publication No.5*) bagi lembangan berhampiran, iaitu 1500 mm (Lembangan Lui), Lembangan Sungai Tekam (1600 mm) dan Lembangan Sungai Anak Keroh (1400 mm). Tren bulanan juga menunjukkan bulan yang menerima hujan yang tinggi (September, Oktober dan November) lazimnya mencatatkan *PE* yang rendah dan sebaliknya. Keadaan ini amat berkait rapat dengan musim hujan yang berawan, dan peningkatan kelembapan di udara menyebabkan sedikit sejatan berlaku pada musim tersebut.

*PR* bagi kawasan kajian ialah 466 mm. Berdasarkan wilayah hidrologi yang dikeluarkan oleh JPS (1982), didapati Lembangan Sungai Lendu termasuk di dalam kategori  $W_1$  dimana *P-PE* adalah di bawah 500 mm setahun. Nilai ini kurang 109 mm dengan anggaran *PR* yang dikira oleh Law & Ahmad Jamaluddin (1989) bagi kawasan Lembangan Sungai Kepis (60 km dari Lembangan Sungai Lendu) iaitu 357 mm. Keadaan ini menunjukkan bahawa kawasan kajian boleh dikategorikan sebagai kawasan kering jika dibandingkan dengan nilai *PR* yang dikira bagi Lembangan lain seperti Lembangan Sungai Anak Keroh (1381 mm) dan Lembangan Sungai Lui (697 mm).

Secara umumnya, maklumat hidrologi yang diperolehi sangat berfaedah dalam merangka pelan pembangunan sungai bagi kawasan tersebut. Memandangkan nilai tahunan bagi  $P$  dan  $PR$  adalah rendah, kemungkinan sebarang perubahan yang berlaku pada regim sungai bukan sahaja disebabkan oleh hujan dan air larian, tetapi adalah kombinasi pelbagai faktor fizikal dan kegiatan manusia. Dalam konteks ini, analisis hakisan tebing telah dijalankan bagi meninjau sejauhmana tahap hakisan yang berlaku di lembangan tersebut.

### **b) Hakisan Tebing Sungai**

Jadual 7 menunjukkan purata hakisan tebing sungai yang diceraip dari bulan Julai sehingga November 2003. Tren mengikut plot menunjukkan jumlah hakisan tebing tertinggi direkodkan pada plot 1 (78.84 cm), diikuti plot 3 (43.5 cm) dan plot 2 (30.06 cm). Pada keseluruhannya, hakisan sisi yang berlaku bagi ketiga-tiga plot adalah sebanyak 152.4 cm. Ini bermakna bahawa purata hakisan sebanyak 30.4 cm telah berlaku dalam tempoh masa satu bulan sepanjang kajian dijalankan atau kira-kira  $3.65\text{m thn}^{-1}$ . Secara perbandingan, kajian yang dilakukan oleh Siti Nazariah (1997) di Sungai Rekoh bagi tempoh yang sama, mencatatkan purata hakisan sebanyak 141.3 cm. Manakala Mohd. Ekhwan (2002; 2003) merekodkan hakisan yang tinggi antara julat 3.88 meter (Sungai Lui) ke 14.95 meter (Sungai Langat) bagi tempoh masa 24 ke 30 bulan penyelidikan di Lembangan Langat.

Hubungan di antara kadar hakisan tebing dengan beberapa pembolehubah fizikal telah dikira bagi memberi gambaran sejauh mana faktor fizikal khususnya hujan dan luahan sungai mempengaruhi kadar hakisan. Ringkasan hasil analisis statistik ditunjukkan dalam Jadual 8.

Berdasarkan nilai pekali korelasi  $r$ , didapati bahawa ketiga-tiga plot terpilih itu mempunyai hubungan yang berbeza-beza dengan pembolehubah hujan. Didapati, plot 2 mempunyai hubungan yang tinggi di antara purata hakisan yang berlaku dengan faktor hujan (0.083). Pekali penentuan regrasi ( $r^2$ ) yang ditunjukkan oleh pembolehubah hujan di Plot 2 ialah 78 peratus adalah lebih tinggi berbanding nilai pekali penentuan regrasi di Plot 1 dan di Plot 3, masing-masing sebanyak 0.08 peratus dan 4.2 peratus. Rajah 3 merupakan satu contoh garis regrasi bagi Plot 2 apabila diplotkan pada graf.

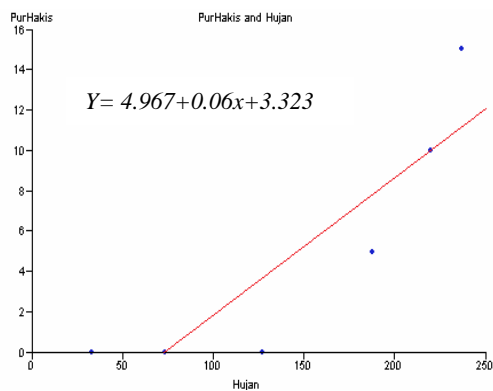
Jadual 7 Purata hakisan tebing sungai direkodkan di plot 1, 2, dan 3

Tarikh cerapan	PLOT 1			PLOT 2			PLOT 3		
	Purata hakisan	Pin hakisan		Purata hakisan	Pin hakisan		Purata hakisan	Pin hakisan	
	(cm)	Bil. pin	Pin terhakis	(cm)	Bil. Pin	Pin terhakis	(cm)	Bil pin	Pin terhakis
13.7.03	0	20	0	0	10	0			
15.8.03	0	20	0	0	10	0	0	10	0
13.9.03	31.7	20	5	0	10	0			
4.10.03	35.04	20	12	5	10	4	35	10	9
1.11.03	7.6	5	5	15.06	10	8	6	4	2
29.11.03	4.5	5	4	10	10	3	2.5	4	1
<b>Jumlah</b>	<b>78.84</b>		<b>26</b>	<b>30.06</b>		<b>15</b>	<b>43.5</b>		<b>12</b>
<b>Purata</b>	<b>13.14</b>		<b>6.5</b>	<b>5.01</b>		<b>5</b>	<b>10.88</b>		<b>4</b>
<b>Maksima</b>	<b>35.04</b>		<b>12</b>	<b>15.06</b>		<b>8</b>	<b>35</b>		<b>9</b>
<b>Minima</b>	<b>4.5</b>		<b>4</b>	<b>5</b>		<b>3</b>	<b>2.5</b>		<b>1</b>

\*\* Jumlah bilangan pin yang digunakan bagi jangka masa cerapan

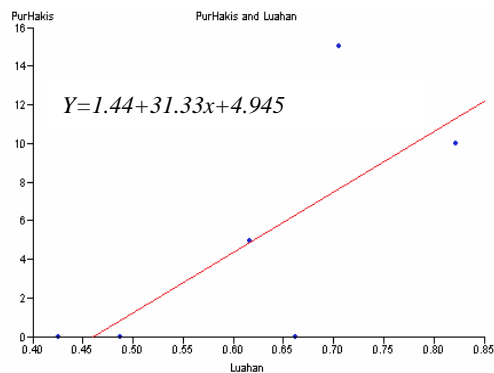
Jadual 8 Model statistik kadar hakisan tebing sungai dan pembolehubah fizikal di kawasan kajian

Pembolehubah bebas	Sisihan piawai (SD)	Pekali korelasi ( r )	Regrasi : $y = a + bx + e$			
			pintasan	koefisien	ralat piawai	r <sup>2</sup>
<b>HUJAN</b>						
Plot 1	82.099	0.283	9.918	38.058	17.845	0.0008
Plot 2	82.099	0.883	-4.97	0.068	3.323	0.78
Plot 3	73.368	0.205	2.74	0.045	19.506	0.042
<b>LUAHAN</b>						
Plot 1	.19	.018	11.49	1.476	17.849	0.003
Plot 2	.145	.717	-14.4	31.334	4.945	0.514
Plot 3	.094	-0.391	40.672	-42.725	19.13	0.078



Rajah 3 Hubungan antara hakisan tebing dan hujan di plot 2

Dari aspek luahan, plot 2 menunjukkan nilai pekali korelasi yang tinggi sebanyak 0.717 dengan nilai  $r^2 = 51.4$  peratus, Nilai ini merupakan suatu bentuk hubungan positif yang amat kuat bagi kedua-dua pembolehubah luahan dan hakisan. Manakala di Plot 3 pula menunjukkan hubungan negatif yang rendah iaitu -0.391 dengan nilai  $r^2 = 7.8$  peratus. Rajah 4 menunjukkan garis regresi luahan dengan purata hakisan (plot 2).



Rajah 4 Hubungan antara purata hakisan tebing sungai dan luahan di Plot 2

Secara umumnya, hasil analisis statistik mendapati faktor hujan dan luahan sungai mempunyai perkaitan dan hubungan yang baik dan sederhana baik dalam mempengaruhi purata hakisan tebing sungai di kawasan kajian. Berdasarkan pemerhatian di lapangan, dapat dijelaskan bahawa terdapat beberapa faktor lain yang mempengaruhi proses hakisan tebing. Walaupun makalah ini tidak membincang secara terperinci, faktor fizikal seperti ketinggian tebing sungai, kecerunan dan komposisi tanah di tebing sungai juga mempengaruhi kadar hakisan yang berlaku. Hal ini dibuktikan melalui kajian yang dilakukan oleh Bray (1987) di Nashwaaksis, Kanada ( $r^2 = 88$  peratus komposisi tanah), Lawler (1993) di Ilston, Wales ( $r^2 = 82$  peratus-ketinggian tebing) dan Mohd Ekhwan (1997) di Chorlton Brook, Manchester ( $r^2 = 87$  peratus- kecerunan tebing).

### c) Kawalan Hakisan Tebing Sungai

Secara umum, kawalan hakisan tebing sungai dilaksanakan bersama kerja penyelenggaraan lain melibatkan pengorekan dan pelurusan segmen ataupun alur sungai. Terdapat juga kerja tebatan banjir yang dilaksanakan turut mengambil kira kawalan

hakisan tebing sungai terutamanya dari aspek pendekatan struktur seperti pembinaan gabion, konkrit bersambung dan sebagainya.

Di bawah Rancangan Malaysia Kelapan misalnya, JPS membelanjakan hampir RM 1.5 bilion untuk projek-projek tebatan banjir sambungan manakala RM 4.13 bilion untuk projek-projek baru, termasuk mengawal selia segmen sungai yang runtuh akibat banjir di seluruh negara (JPS 2004). Bagi Sungai Lendu, keseluruhan pengurusan dan penyelenggaraan sungai adalah di bawah JPS Daerah Alor Gajah Melaka dan Pihak Berkuasa Tempatan. Sehingga penghujung 2004, sejauh 5.5 kilometer sungai terlibat di dalam projek pelurusan sungai manakala kawasan yang mengalami hakisan tebing yang kritikal telah diperbaiki. Dijangkakan menjelang akhir 2005, kerja pengorekan dan pelurusan sungai sepanjang 16.7 km akan siap sepenuhnya. Kawalan struktur di Sungai Lendu melibatkan beberapa bentuk iaitu:

i. Pemasangan batu sangkar (*gabion*)

Batu jenis granit telah disusun dalam keluli tahan karat berukuran 1m x 1m x 1m. Lazimnya struktur ini dipasang di bawah, berhampiran jambatan ataupun di bahagian tebing yang dipotong kecerunannya. Sebanyak empat lokasi pemasangan gabion boleh diperhatikan di bahagian hilir Sungai Lendu. Namun begitu, beberapa segmen tebing masih kelihatan tidak stabil walaupun dipasang struktur berkenaan. Keadaan ini mungkin disebabkan kurangnya penyelenggaraan dan bebanan tanah di bahagian atas tebing menyebabkan struktur atas gabion bergerak ke depan.

ii. Tembok bungkah batu bersimen (*rubble wall*)

Berbeza dengan gabion, *rubble wall* merupakan susunan batu granit yang disusun mengikut bentuk tebing sungai dan disimen di antaranya bertujuan memperkukuhkan struktur tebing. Beberapa lubang air turut dibuat mengikut paras tebing sungai untuk mengalirkan air dari bahagian belakang tembok. Di kawasan kajian, kebanyakan struktur berkenaan telah berusia melebihi lima tahun menyebabkan sebahagian struktur tembok runtuh akibat banjir yang berlaku setiap tahun.

### iii. Pemotongan cerun tebing

Melalui kerja pelurusan sungai, enam kilometer sungai di bahagian hulu telah dipotong cerun tebingnya secara berterus dengan purata cerun menjadi  $< 30$  darjah. Tujuannya ialah bagi mengelakkan runtuh tebing sungai semasa banjir. Manakala di bahagian hilir, bahagian atas tebing sungai yang curam turut diratakan bagi membina laluan kecil penduduk. Di Kampung Pa'abas misalnya, segmen sungai yang berliku dengan indeks sinuositi melebihi dua turut diluruskan. Pemerhatian semasa kajian mendapati selain segmen sungai yang lurus dan terbuka, segmen berliku merupakan segmen paling banyak terdedah kepada hakisan tebing terutamanya di bahagian terjahan aliran sungai. Oleh itu, di kawasan berkenaan sahaja, jumlah likuan telah dikurangkan kepada tiga dengan sinuositi antara 0.13- 1.26. Keadaan ini menjadikan laluan air lebih mudah dan sekali gus mengurangkan kadar hakisan akibat luahan banjir.

## KESIMPULAN

Fenomena hakisan tebing sungai merupakan antara masalah yang dihadapi oleh agensi berkaitan pengurusan sungai. Dalam kes Sungai Lendu, hakisan tebing yang berterusan boleh menyebabkan kestabilan agregat tebing berkurang dan seterusnya boleh mengakibatkan runtuh yang lebih besar. Sekiranya keadaan ini berlaku, kos membaikpulih pastinya akan meningkat. Justeru itu, kawalan hakisan tebing sungai adalah langkah terbaik bagi mengembalikan semula kestabilan tebing.

Struktur kejuruteraan yang diimplimentasi bagi mengawal hakisan tebing juga seharusnya mengambil kira ciri hidrologi sesebuah lembangan. Informasi hidrologi di sesebuah lembangan sungai penting dalam merancang dan menguruskan keperluan sesebuah sungai. Rekabentuk dan mitigasi yang dilaksanakan akibat hakisan tebing memerlukan maklumat hidrologi bagi memastikan projek yang dilaksanakan bermanfaat dan berupaya mengurangkan masalah yang berlaku. Di Sungai Lendu, hakisan tebing sungai berjaya di- kawal melalui pembinaan struktur kawalan hakisan oleh pihak JPS. Walaupun terdapat kurang penyelenggaraan, pelaksanaan projek pelebaran dan pelurusan sungai berjaya mengurangkan masalah hakisan tebing khususnya dalam jangka masa



pendek. Usaha ini penting bukan sahaja memastikan aliran sungai yang sempurna, tetapi juga dapat mengurangkan masalah hakisan tebing sungai yang kerap dilaporkan berlaku di bahagian hilir Sungai Lendu sebelum bertemu dengan Sungai Buloh. Di samping itu, melalui kerja tebatan tebing sungai, banyak kawasan pertanian di sepanjang sungai dapat diselamatkan daripada mengalami hakisan terutama apabila berlakunya banjir. Dalam masa yang sama, penyelenggaraan yang berterusan hendaklah dikekalkan bagi memastikan segmen tebing sungai yang ditembok dan dipotong cerunnya sentiasa stabil.

### **Penghargaan**

Penulis merakamkan ucapan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia, Jabatan Pengairan dan Saliran Melaka dan Pejabat Daerah Alor Gajah yang membantu menjayakan penyelidikan ini.

### **Rujukan**

- Aminuddin, A.G., Zorkeflee, A.H., Rozi, A., Ismail, A., Lariyah, M.S., Nor Azizi, Z & Mohd Nordin. 1999. A cross sectional changes in Pari River after completion of a flood mitigation project. Kertas kerja dibentangkan dalam International Seminar on Water: forestry and land use perspectives. Forest Research Institute Malaysia. 30-31 Mac 1999.
- Bray, D.I. 1987. A study of channel changes in a reach of the North Nashwaaksis stream, New Brunswick, Canada. *Earth surface processes and landforms*.12: 151-165.
- Douglas, I. 1968. Erosion in the Sungei Gombak catchment, Selangor, Malaysia. *Journal of Tropical Geography*. University of Malaya. 26: 1-15.
- Gilvier, D.J. & Winterbottom, S.J. 1998. Changes in channel morphology, floodplain land use and flood damage on the Rivers Tays and Tummel over the last 250 years. Implications for floodplain management. In R.G. Bailey, P.V. Jose & B.R. Sherwood (Pnyt.). *United Kingdom: Floodplain*. Yorkshire: Westbury Academic and Scientific Publishing.
- Handy, R.L. 1972. Alluvial cut-off dating from subsequent growth of a meander. *Geological Society of America Bulletin*. 83: 475-480.
- Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia. 1976. Water Resources Publication No. 5. Evaporation in Peninsular Malaysia.
- Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia. 1976. Water Resources Publication No. 2. average annual and monthly surface water resources of Peninsular Malaysia.
- Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia. 2004. Laporan program JPS mengikut keutamaan (2000-2004). Malaysia. Kementerian Sumber Asli dan Alam Sekitar.
- Jackson, R.G. 1976. Depositional model of point bars in the Lower Wabash River. *Journal of Sedimentary Petrology*. 46: 579-594.

- Law Kong Fook & Ahmad Jamaluddin Shaaban. 1989. Some hydrological characteristics of representative and experimental basins in Peninsular Malaysia. Paper presented at UNESCO/MRP Seminar on Tropical Forest Hydrology. 4-8 September 1989. Kuala Lumpur.
- Lawler, D. M. 1992. Design and installation of a novel automatic erosion monitoring system. *Earth Surface Processes and Landforms*.17: 455-463.
- Lawler, D.M. 1984. Processes of river bank erosion: the River Ilston, South Wales, UK. Unpublished Ph.D thesis. University of Wales.
- Lawler, D.M. 1993. Needle ice processes and sediment mobilization on river banks: the River Ilston, West Glamorgan, UK. *Journal of Hydrology*. 150: 81-114.
- Milne, J.A. 1982. River channel change in the Harthorpe Valley, Northumberland, since 1897. University of Newcastle Upon Tyne, School of Environmental Studies. Research Series.13.
- Mohd Barzani, G. Sujaul Islam, M & Tan, C.C. 2005. Hydrological properties of Sungai Bebar, Pekan, Pahang. Biodiversity expedition Sungai Bebar Pekan Pahang. PSF Technical Series No.4. UNDP/GEF Funded. Forest Research Institute Malaysia. 46-50.
- Mohd Ekhwan Toriman & Andy Large. 2004. Processes of channel planform change on meandering channel: Implication to river management. Dalam Jamaluddin Md. Jahi, Kadir Arifin, Salmiah Surif & Shahrudin Idrus (Pnyt.). *Prosiding 2<sup>nd</sup> Bangi World Conference on Environmental Management*. Penerbit Centre of Graduate Studies, UKM. 267-277.
- Mohd Ekhwan Toriman & Noorazuan Md. Hashim. 2003. Construction of channel instability and channel changes using GIS approach along the Langat River, Peninsular Malaysia. Dalam Noorazuan Md. Hashim & Ruslan Rainis (Pnyt.). *Urban ecosystem studies in Malaysia: A study of change*. Universal Publishers. Florida.186-198.
- Mohd Ekhwan Toriman., 2003. Processes of channel planform change on meandering channel: Implication for river restoration on the Langat River. Dalam Mokhtar Jaafar (Pnyt.). *Prosiding Persidangan Cabaran Pembangunan, Dilema Persekitaran*. Penerbit Pusat Pengajian Sosial, Pembangunan dan Persekitaran, UKM. Bangi. 21-28.
- Mohd Ekhwan Toriman. 2005. Hydrometeorological conditions and sediment yield in the upstream reach of Sungai Bebar, Pekan Forest Reserve, Pahang. Biodiversity expedition Sungai Bebar Pekan Pahang. PSF Technical Series No.4. UNDP/GEF Funded. Forest Research Institute Malaysia. 41-45.
- Mohd Ekhwan Toriman, Zulkifli Yusop & Mazlin Mokhtar. 2006. Application of GIS for detecting changes of Sungai Langat channel. *Malaysia Journal of Civil Engineering*. Vol. 18. No.1: 59-69.
- Mohd. Ekhwan Toriman. 2002. Stream channel erosion and bank protection on Langat River Basin. Dalam Chan Ngai Weng (Pnyt.). *Prosiding Rivers: towards sustainable development*. Penerbit Universiti Sains Malaysia. 291-299.

- Mohd. Ekhwan Toriman & Kadaruddin Aiyub. 2000. Perubahan hidrofizikal sungai melalui pembangunan sisi-hadapan sungai bandar di Malaysia. Dalam Katiman Rustam, Noraziah Ali, Yaakob Mohd Jani & Mokhtar Jaafar (Pnyt.). *Prosiding Seminar kebangsaan geografi, alam, manusia dan pembangunannya di Malaysia*. Penerbit Jabatan Geografi, UKM. 85-93.
- Mohd Ekhwan Toriman. 1997. The effect of urbanization on river bank erosion and lateral channel change of the Chorlton Brook, Manchester. *Jurnal Ilmu Alam*. 23: 115-132.
- Mutgatroyd, A.L. & Ternan, J.L. 1983. The impact of afforestation on stream bank erosion and channel form. *Earth surface and processes and landforms*. 8: 357-369.
- Stott, K.M. 1982. Erosion and sedimentation in the Kenai River, Alaska, US. Geological Survey Professional Paper. 1235. 35.
- Siti Nazariah A.Kadir. 1997. Hakisan tebing sungai di Lembangan Sungai Rekoh, Selangor. Latihan Ilmiah. Jabatan Geografi. Universiti Kebangsaan Malaysia (tidak diterbitkan).
- Rachagan, S.S. & Dorall, R.F. 1976. Rivers as international boundaries; the case of the Sungai Golok, Malaysia-Thailand. *Journal of Tropical Geography*. 42: 47-58.
- Thorne, C.R., Bathurst, J.C & Hey, R.D. 1987. *Sediment transport in Gravel-bed Rivers*, London: John Wiley and Sons.