

**PEMBANGUNAN LENGKUNG KADAR PENGANGKUTAN ENDAPAN  
MENGUNAKAN FLUVIAL-12**

OLEH

NOORAZLAN BIN AMAT SIHAB

Disertasi ini dihantar kepada

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan  
untuk ijazah dengan kepujian

**IJAZAH SARJANA MUDA (KEJURUTERAAN AWAM)**

## **PENGHARGAAN**

Saya ingin merakamkan jutaan terima kasih kepada Penyelia projek tahun akhir saya iaitu Prof. Madya Dr.Aminuddin Ab.Ghani yang memberi banyak tunjuk ajar, kefahaman dan perkara-perkara yang diperlukan semasa menyiapkan projek ini.Segala penambahbaikan yang diterangkan beliau diharap dapat memberi manfaat untuk keperluan saya pada masa hadapan.

Saya juga ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada Encik Chang Chun Kiat, pegawai Sains di Redac yang membantu kami dari segi keperluan analisis dan pembetulan pengiraan untuk data.Juga, kepada para juruteknik seperti Encik Fauzi, Encik Rahim, Encik Firdaus dan yang lain-lain yang membantu saya dan kawan-kawan semasa menjalankan kajian dan mengambil data di lapangan.Tidak lupa kepada Cheng Kok Leong dan Nicholas Lim, iaitu rakan-rakan semasa mengambil data, kerjasama anda berdua amat-amat saya hargai.Terima kasih.

## ABSTRAK

Kesan pembangunan di sesuatu kawasan tadahan sungai akan menyebabkan peningkatan kadar aliran dan hakisan dasar atau keruk serta pemendapan dalam saluran sungai. Akibat daripada perkara tersebut akan menyebabkan ketidakstabilan saluran sungai di mana akan berlaku kegagalan tebing sungai atau kegagalan struktur perlindungan sungai serta pengurangan kapasiti saluran bagi mengalirkan banjir ke hilir. Oleh yang demikian, adalah perlu untuk meramalkan kestabilan saluran sungai yang akan berlaku akibat pembangunan sedia ada atau pun akan datang di sesuatu tadahan sungai. Kajian ini melibatkan beberapa lokasi di Sungai Kulim, Kedah. Secara amnya, objektif utama kajian ini adalah untuk membangunkan lengkung kadar pengangkutan endapan dengan menggunakan perisian Fluvial-12. Sesuatu lengkung kadar endapan dapat memberi gambaran tentang keupayaan sungai membawa endapan bagi sesuatu lokasi atau stesyen. Pembangunan lengkung kadar endapan penting dalam memastikan pengujian kestabilan di hilir sungai sama ada ianya berlaku disebabkan proses semulajadi atau hasil aktiviti manusia. Beberapa set data yang merangkumi data untuk pengangkutan endapan seperti bahan dasar, beban terampai, dan beban dasar serta kadar aliran diperlukan dalam membangunkan lengkung kadar pengangkutan endapan ini. Pencerapan juga dijalankan bagi penentuan perubahan dasar keratan rentas sungai di beberapa lokasi yang berkenaan. Data yang dikumpulkan akan dianalisa bagi memilih persamaan pengangkutan endapan yang meramalkan kadar endapan yang paling hampir dengan kadar endapan yang dicerap. Seterusnya, berdasarkan persamaan-persamaan terbaik tersebut beserta maklumat di atas, satu lengkung kadar endapan akan di bangunkan bagi kawasan kajian tersebut.

## **ABSTRACT**

Development which takes place in river catchment areas will result in discharge and bed erosion increment or scouring and deposition. The matter stated above will result in the instability in the river channel. When this happens, there will be failures to the river bank or in the river protection structure and reduce the channel capacity to flow the flood to downstream. Therefore, it is necessary to predict the river channel stability that will happen due to the existing development or the one which will take place in the future in a river catchment area. This study covers several locations at Sungai Kulim in Kedah. In general, this study is conducted to develop sediment rating curve using Fluvial-12 software. The development of sediment rating curve is quite important to check the stability of the reach in response to catchment changes either due to human interference or natural processes. Sediment transport data including bed load, bed material, suspended load and channel cross section is taken at several stations along Sungai Kulim to assess the available sediment transport equations and develop the sediment rating curve.

## Isi Kandungan

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
ISI KANDUNGAN	iv
SENARAI RAJAH	v
SENARAI JADUAL	vi
BAB 1 PENGENALAN	1
1.1 LATARBELAKANG	1
1.2 PEMODELAN SUNGAI	5
1.3 OBJEKTIF KAJIAN	6
BAB 2 SOROTAN LITERATUR	
2.1 PROSES PENGANGKUTAN ENDAPAN SUNGAI	7
2.2 CIRI FIZIKAL ENDAPAN SUNGAI	9
2.3 RAGAM PENGANGKUTAN ENDAPAN SUNGAI	14
2.4 KERATAN RENTAS SUNGAI	16
2.5 LENGKUNG KADAR PENGANGKUTAN ENDAPAN	18
2.6 PEMODELAN PENGANGKUTAN ENDAPAN SUNGAI	20
BAB 3 METODOLOGI	
3.1 PENGENALAN	37
3.2 PENCERAPAN DATA ENDAPAN	38
3.3 PEMODELAN SUNGAI MENGGUNAKAN FLUVIAL-12	47
BAB 4 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
4.1 PENGENALAN	61
4.2 PENYELAKUAN FLUVIAL-12	61
4.3 PERBINCANGAN	76
BAB 5 KESIMPULAN	77
RUJUKAN	78
LAMPIRAN	

## **SENARAI RAJAH**

Rajah 1.1 : Antara Contoh Kadar Pemendapan Yang Tinggi Di Dalam Saluran Sungai

Rajah 1.2 : Antara Contoh Kegagalan Struktur Perlindungan Sungai

Rajah 1.3 : Antara Contoh Sungai Dalam Keadaan Semulajadi

Rajah 2.1 : Diagram Shields (ubahsuaian dari Featherstone & Nalluri, 2001)

Rajah 2.2 : Tegasan Ricih Kritikal Oleh Shields (Yang, 1996)

Rajah 2.3 : Hubungan Antara Saiz Zarah Endapan dan Halaju Jatuh (Yang, 1996)

Rajah 2.4 : Halaju Kritikal (Yang, 1996)

Rajah 2.5 : Kerja Ukur Keratan Rentas Sungai (ASCE, 1997)

Rajah 2.6 : Perubahan Pada Keratan Sungai Projek Tebatan Banjir Sungai Pari (Taman Merdeka)(Ibrahim, 2002)

Rajah 2.7 : Perubahan Keratan Rentas Sungai East Fork (Andrews, 1979)

Rajah 2.8 : Lengkung Kadar Pengangkutan bagi Cache Creek (ASCE, 1996)

Rajah 2.9 : Lengkung Kadar Pengangkutan Untuk Sungai Pari, Sungai Kerayong dan Sungai Kulim. (Yahaya, 1999)

Rajah 3.1 : Kaedah Untuk Mencerap Sampel Bahan Dasar

Rajah 3.2 : Kaedah Untuk Mencerap Sampel Beban Endapan Dasar

Rajah 3.3 : Prosedur Untuk Menjalankan Analisis Ayakan

Rajah 3.4 : (a) Arah Aliran (b) Pengukuran Keratan Rentas Di CH 11800

Rajah 3.7 : Carta Alir Fluvial-12

Rajah 3.8 : Hidrograf Cerapan Sungai Kulim Bagi Tahun 1997 Sehingga 2003 (JPS, 2003)

Rajah 3.9 : Hidrograf Rekabentuk Tahun 2010, 48 jam Ribut Kritikal (JPS, 1996)

Rajah 3.10 : Hidrograf Rekabentuk Tahun 2010, 18 jam Ribut Kritikal (JPS, 1996)

Rajah 3.11 : Lengkung Kadar Aliran Untuk Sungai Kulim Bagi Tahun 2002 (JPS, 2003)

Rajah 3.12 : Taburan Purata Saiz Endapan Bahan Dasar Di CH1000

Rajah 3.13 : Taburan Purata Saiz Endapan Bahan Dasar Di CH11800

Rajah 4.1 : Perbandingan Penyelakuan Fluvial-12 Terhadap Perubahan Dasar Keratan Rentas 1000m, Hidrograf Cerapan Tahun 1998 (16432 Jam – Waktu Puncak)

Rajah 4.2 : Perbandingan Penyelakuan Fluvial-12 Terhadap Perubahan Dasar Keratan Rentas 11800m, Hidrograf Cerapan Tahun 1998 (16432 Jam – Waktu Puncak)

Rajah 4.3 : Perbandingan Penyelakuan Fluvial-12 Terhadap Perubahan Dasar Keratan Rentas 1000m, Hidrograf Cerapan Tahun 1998 (16432 Jam – Waktu Puncak)

Rajah 4.4 : Perbandingan Penyelakuan Fluvial-12 Terhadap Perubahan Dasar Keratan Rentas 11800m, Hidrograf Cerapan Tahun 1998 (16432 Jam – Waktu Puncak).

Rajah 4.5 : Hidrograf Cerapan Sungai Kulim Bagi Tahun 1997-2003 (JPS, 2003)

Rajah 4.6 : Lengkung Kadar Pengangkutan Endapan Di Keratan Rentas CH1000  
Hidrograf Cerapan Tahun 1998.

Rajah 4.7 : Lengkung Kadar Pengangkutan Endapan Keratan Rentas CH11800  
Hidrograf Cerapan Tahun 1998.

Rajah 4.8 : Hidrograf Rekabentuk Sungai Kulim Tahun 2010, Tempoh 48 Jam  
(Ribut Kritikal)

Rajah 4.9 : Lengkung Kadar Pengangkutan Endapan Keratan Rentas CH1000  
Hidrograf Tahun 2010,48 Jam (Ribut Kritikal)

Rajah 4.10: Lengkung Kadar Pengangkutan Endapan Keratan Rentas CH11800  
Hidrograf Tahun 2010,48 Jam (Ribut Kritikal)

Rajah 4.11 : Hidrograf Rekabentuk Sungai Kulim Tahun 2010, Tempoh 18 Jam  
(Ribut Kritikal)

Rajah 4.12 : Lengkung Kadar Pengangkutan Endapan Keratan Rentas CH1000  
Hidrograf Tahun 2010,18 Jam (Ribut Kritikal)

Rajah 4.13 : Lengkung Kadar Pengangkutan Endapan Keratan Rentas CH11800  
Hidrograf Tahun 2010,18 Jam (Ribut Kritikal).



## SENARAI JADUAL

Jadual 2.1 : Skala Saiz Zarah Endapan oleh Lane (ubahsuai dari Yang,1996)

Jadual 2.2 : Halaju Kritikal (ASCE, 1996)

Jadual 2.3 : Klasifikasi Ragam Pengangkutan Endapan Sungai (FIRSW, 2001)

Jadual 2.4 : Definisi Ragam Pengangkutan Endapan Berdasarkan Parameter Boleh Gerak (Featherstone & Nalluri, 2001)

Jadual 3.1 : Klasifikasi Saiz Zarah Endapan

Jadual 3.2 : Jenis Rekod Kerja Fluvial-12 Serta Penerangannya

Jadual 4.1 : Paparan Nilai *Output* Untuk Keratan Rentas CH1000 (Hidrograf Cerapan Tahun 1998)

Jadual 4.2 : Paparan Nilai *Output* Untuk Keratan Rentas CH118000 (Hidrograf Cerapan Tahun 1998)

Jadual 4.3 : Paparan Nilai *Output* Untuk Keratan Rentas CH1000, Hidrograf Rekabentuk Tahun 2010,48 Jam (Ribut Kritikal)

Jadual 4.6 : Paparan Nilai *Output* Untuk Keratan Rentas CH11800 Hidrograf Rekabentuk Tahun 2010,18 Jam (Ribut Kritikal)

# **BAB 1**

## **PENGENALAN**

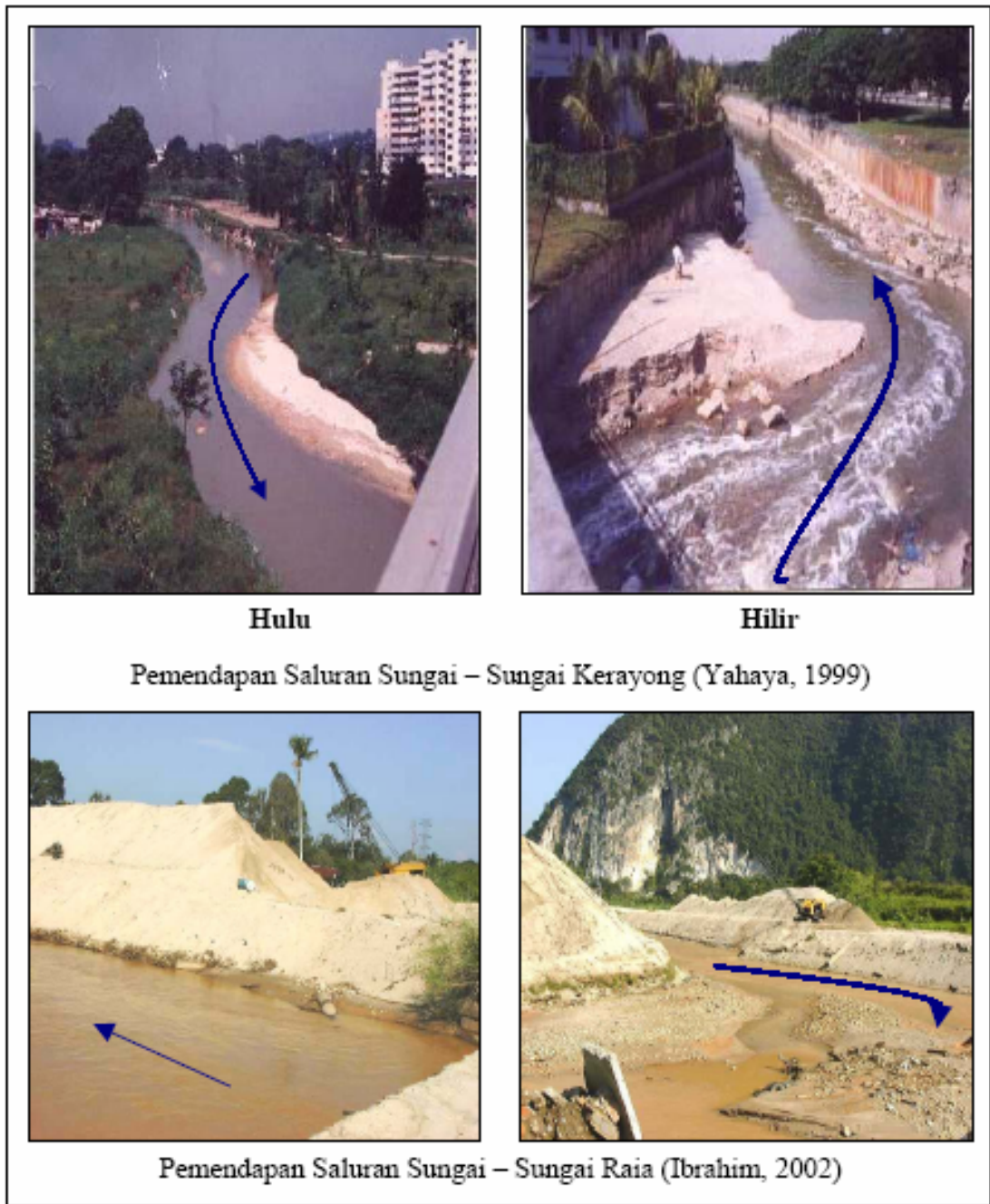
### **1.1 LATARBELAKANG**

Apabila sesuatu kawasan tadahan sungai mengalami pembangunan tidak terkawal, ini akan menyebabkan peningkatan terhadap kadar aliran dan hakisan dasar atau keruk serta berlaku pemendapan dalam saluran sungai. Seterusnya, aktiviti-aktiviti tersebut mengakibatkan ketidakstabilan saluran sungai di mana akan berlaku kegagalan struktur perlindungan dan pengurangan kapasiti saluran sungai bagi mengalirkan banjir ke hilir.

Apabila sesuatu kejadian banjir berlaku berulang kali, ini dikaitkan dengan kadar pemendapan yang tinggi di dalam saluran sungai (Rajah 1.1). Kegagalan yang berlaku pada struktur-struktur perlindungan sungai sering berlaku selepas pembinaan projek-projek tebatan banjir (Rajah 1.2). Terdapat banyak punca kegagalan dan salah satu adalah hakisan dan pemendapan.

Proses hakisan dan pemendapan melibatkan interaksi antara aliran air dan endapan sungai. Pemahaman berkaitan interaksi pergerakan endapan ini serta perubahan kepada saluran sungai penting bagi membolehkan satu kawalan terhadap hakisan dan pemendapan dapat dijalankan untuk pengekalan kestabilan sesuatu saluran sungai.

Selain itu, kefahaman berkaitan proses pengangkutan endapan di dalam sungai juga akan membantu pengekalan sungai dalam keadaan semulajadi (Rajah 1.3) serta membolehkan sesuatu saluran sungai yang telah diubahsuai kembali seperti keadaan semulajadi.



Rajah 1.1 : Antara Contoh Kadar Pemendapan Yang Tinggi Di Dalam Saluran Sungai



**Selepas Banjir**



**Semasa Banjir**

**Hakisan dan Kerosakan Akibat Banjir – Sungai Keroh (Yahaya, 1999)**



**Hakisan dan Kerosakan Akibat Banjir – Sungai Pari (Abu Hasan, 1998)**

**Rajah 1.2 : Antara Contoh Kegagalan Struktur Perlindungan Sungai**



Rajah 1.3 : Antara Contoh Sungai Dalam Keadaan Semulajadi

## 1.2 PEMODELAN SUNGAI

Pemodelan sesuatu sungai dijalankan untuk menilai kesan hakisan dan pemendapan hasil daripada proses pengangkutan endapan. Selain itu, melalui pemodelan sungai juga, ianya boleh meramal perubahan yang mungkin berlaku terhadap morfologi sungai sama ada secara semulajadi atau buatan. Pemodelan sungai juga boleh digunakan untuk memilih persamaan pengangkutan endapan sedia ada dan membangunkan lengkung kadar pengangkutan endapan (Chang, 1988).

Dalam kajian ini, aplikasi perisian model Fluvial-12 digunakan untuk menghasilkan pemodelan bagi Sungai Kulim, memilih persamaan pengangkutan endapan yang bersesuaian dan seterusnya membangunkan lengkung kadar pengangkutan endapan bagi melihat perbandingan di antara data yang dicerap di lapangan dengan hasil simulasi oleh Fluvial-12.

### **1.3 OBJEKTIF KAJIAN**

Secara umumnya, objektif utama kajian atau penyelidikan ini ialah :

- a.) Membangunkan lengkung kadar pengangkutan endapan bagi kawasan kajian iaitu di Sungai Kulim menggunakan perisian Fluvial-12.
- b.) Menghasilkan pemodelan bagi Sungai Kulim menggunakan perisian Fluvial-12.
- c.) Mengkaji serta menyelidik ciri-ciri aliran dan pergerakan endapan di Sungai Kulim secara umum.

## BAB 2

### SOROTAN LITERATUR

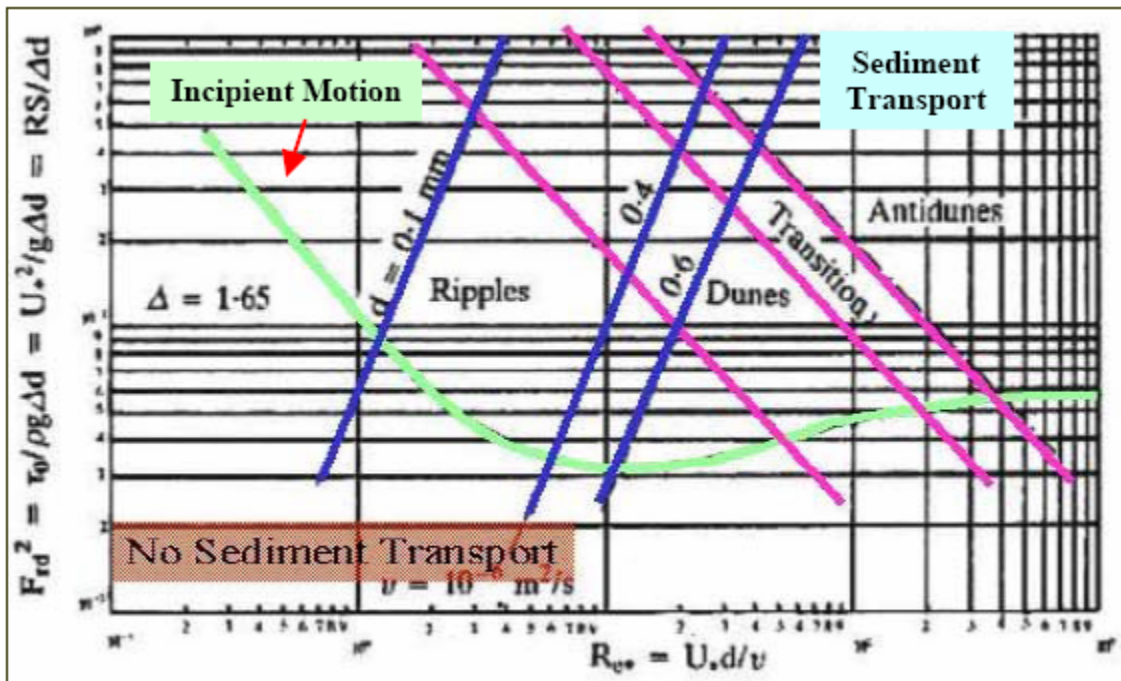
#### 2.1 PROSES PENGANGKUTAN ENDAPAN DI SUNGAI.

Suatu aliran sungai alluvium akan menghasilkan tegasan ricih ke atas zarah endapan yang terletak di atas dasar rata. Apabila luahan bertambah akibat fenomena alam seperti hujan, tegasan ricih ke atas zarah endapan juga akan bertambah sehingga suatu keadaan apabila zarah endapan hampir bergerak. Fenomena ini dikenali sebagai keadaan pergerakan awal atau (*incipient motion*).

Pertambahan luahan akan menyebabkan zarah endapan akan teriring (*entrained*) dan mula bergerak sebagai beban dasar (*bed load*) di mana hakisan dasar telah berlaku. Proses ini merupakan proses permulaan pengangkutan endapan di sungai. Zarah endapan akan bergerak sama ada sebagai beban endapan dasar (*bed load*) atau beban terampai (*suspended load*) bergantung kepada ciri-ciri aliran seperti kadar alir, cerun membujur dan endapan iaitu (saiz, bentuk, ketumpatan, halaju jatuh). Jika luahan berkurangan dan keupayaan mengangkut juga berkurangan, pengendapan (*deposition*) akan berlaku.



Diagram Shield (Rajah 2.1) memberi ringkasan proses-proses yang berlaku di dalam pengangkutan endapan (Nalluri & Featherstone, 2001). Hakisan terjadi apabila terdapat beberapa bentuk terhasil dipengaruhi oleh rintangan aliran dan pengangkutan endapan.



Rajah 2.1 : Diagram Shields (ubahsuaian dari Featherstone & Nalluri, 2001)

## 2.2 CIRI-CIRI FIZIKAL ENDAPAN SUNGAI

Proses-proses pengangkutan endapan dalam sungai adalah melibatkan antara aliran dan zarah endapan. Pengetahuan tentang ciri-ciri fizikal endapan penting dalam memahami proses pengangkutan endapan.

Ciri-ciri fizikal yang penting dan paling utama adalah saiz endapan yang boleh ditentukan melalui analisis ayakan beban dasar. Jadual (2.1) yang dibangunkan oleh Lane (Yang, 1996) memberikan skala saiz zarah endapan dan merupakan dan telah diterima pakai secara meluas. Kebanyakan persamaan yang diterbitkan adalah bagi endapan seragam. Antara definisi endapan seragam berdasarkan saiz ayakan seperti berikut (Raudkivi 1993, Julien 2002) :

$$(d_{60}/d_{10}) < 3 \quad (2.2a)$$

$$(d_{95}/d_5) < 5 \quad (2.2b)$$

$$(d_{84}/d_{16})^{1/2} < 1.5 \quad (2.2c)$$

Saiz endapan mendekati seragam diwakili oleh saiz ayakan  $d_{50}$ , manakala saiz endapan tidak seragam diwakili oleh saiz ayakan  $d_{75}$  atau  $d_{80}$ .

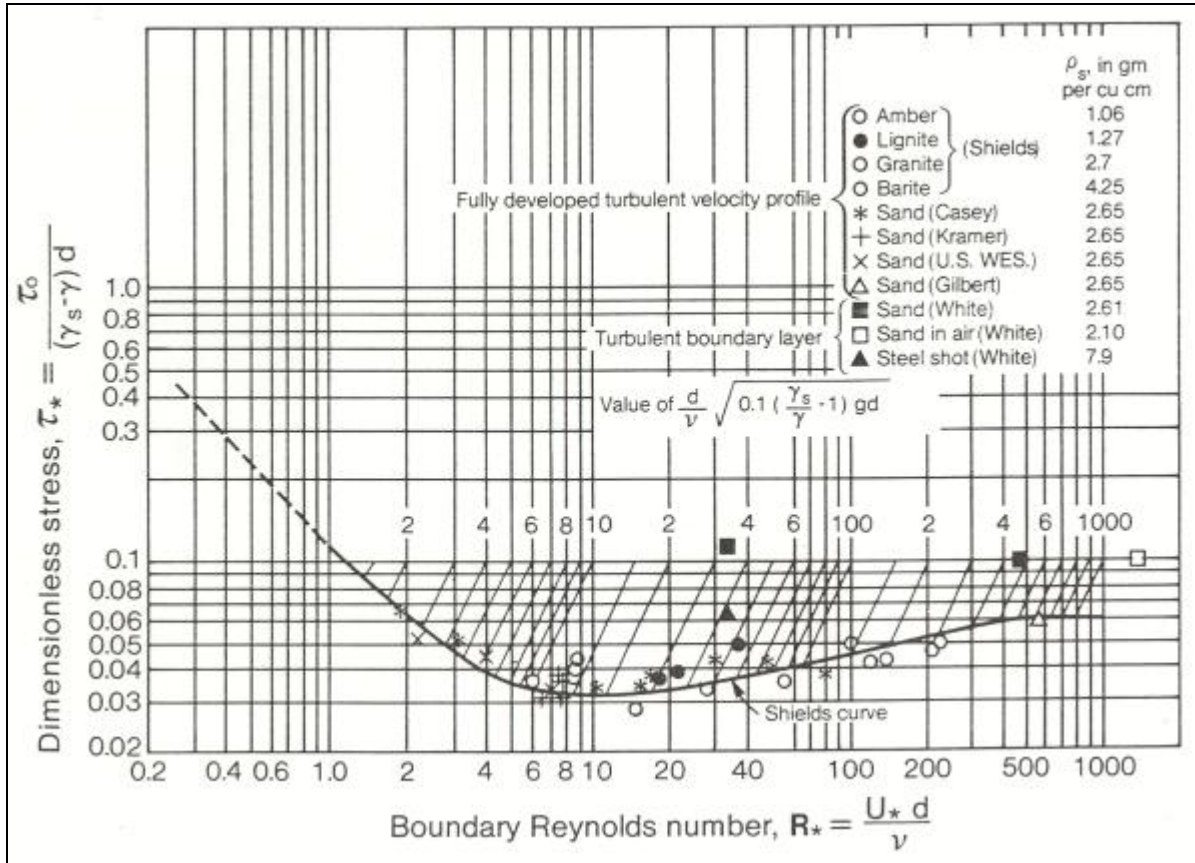
Jadual 2.1 : Skala Saiz Zarah Endapan oleh Lane (ubahsuai dari Yang,1996)

Millimeter	Inci	Tyler Standard	US Standard	Kelas
4000-2000	160-80			Batu Tongkol Sangat Besar
2000-1000	80-40			Batu Tongkol Besar
1000-1500	40-20			Batu Tongkol Sederhana
500-250	20-10			Batu Tongkol Kecil
250-130	10-5			Batu Bundar Besar
130-64	5-2.5			Batu Bundar Kecil
64-32	2.5-1.3			Kerikil Yang Sangat Kasar
32-16	1.3-0.6			Kerikil Kasar
16-8	0.6-0.3	2-1.2		Kerikil Sederhana
8-4	0.3-0.16	5	5	Kerikil Halus
4-2	0.16-0.08	9	10	Kerikil Sangat Halus
2-1		16	18	Pasir Yang Sangat Kasar
1.00-0.50		32	35	Pasir Kasar
0.50-0.25		60	60	Pasir Sederhana
0.025-0.062		115	120	Pasir Halus
0.062-0.031		250	230	Pasir Yang Sangat Halus
0.031-				Kelodak Kasar
0.031-0.016				Kelodak Sederhana
0.016-0.008				Kelodak Halus
0.008-0.004				Kelodak Sangat Halus
0.004-0.0020				Tanah liat Kasar
0.0020-0.0010				Tanah liat Sederhana
0.0010-0.0005				Tanah liat Halus
0.0005-0.00024				Tanah liat Sangat Halus

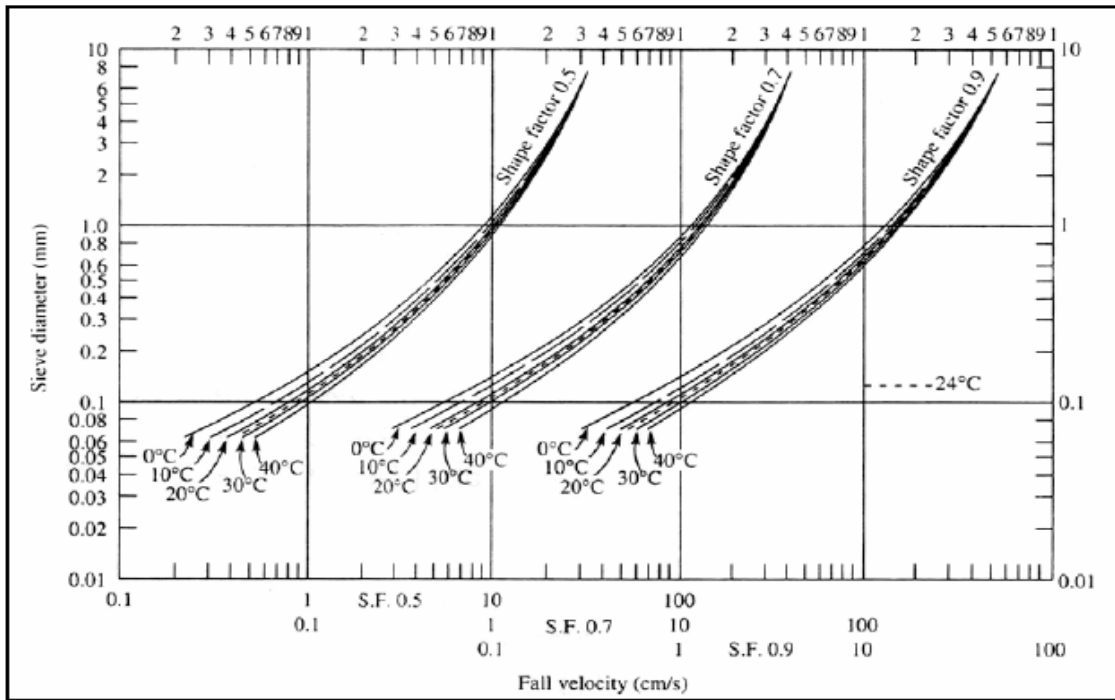
Faktor bentuk (*shape factor*) merupakan ciri fizikal endapan yang penting. Bagi pasir semulajadi, faktor bentuk adalah bersamaan dengan 0.7 (Yang, 1996).

Satu lagi ciri fizikal yang penting adalah halaju jatuh dan dipengaruhi oleh saiz zarah endapan (Rajah 2.2) , suhu dan faktor bentuk.

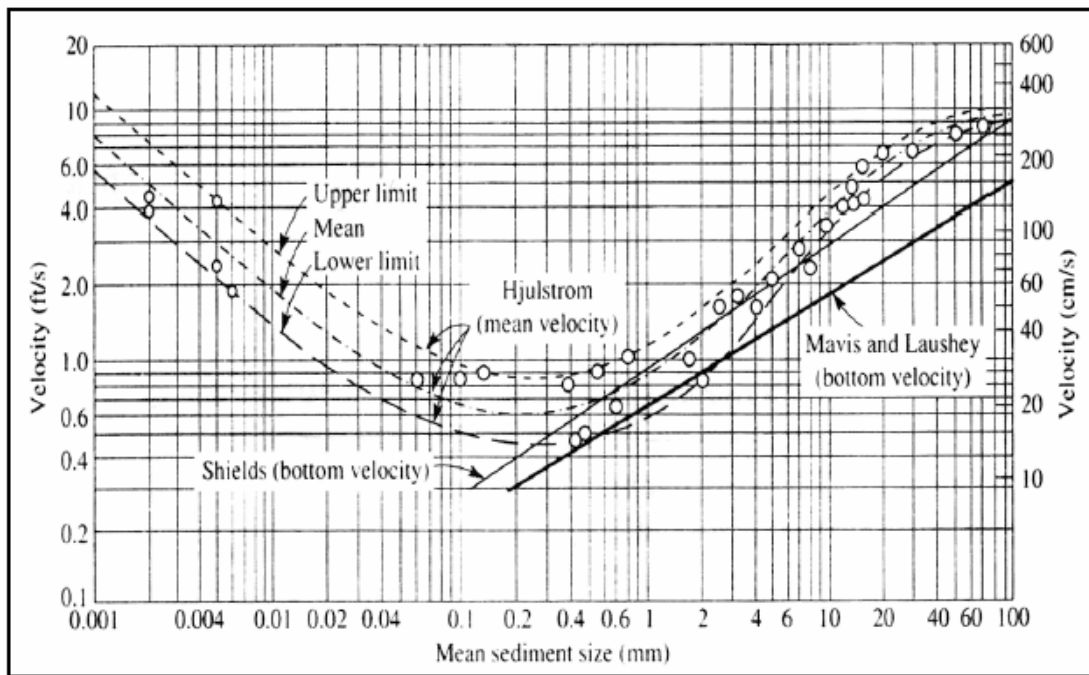
Rajah 2.1 dan Rajah 2.3 memberikan tegasan ricih kritikal dan halaju kritikal yang dipengaruhi oleh saiz endapan bahan dasar dan halaju jatuh.(Yang, 1996).Ini menunjukkan saiz bahan dasar sangat penting dalam proses pengangkutan endapan dalam sungai.



Rajah 2.2 : Tegasan Ricih Kritikal Oleh Shields (Yang,1996)



Rajah 2.3 : Hubungan Antara Saiz Zarah Endapan dan Halaju Jatuh (Yang, 1996)



Rajah 2.4 : Halaju Kritikal (Yang, 1996)

Jadual 2.2 : Halaju Kritikal (ASCE, 1996)

<b>Channel Material</b>	<b>Mean Channel Velocity, fps</b>
Fine Sand	2.0
Coarse Sand	4.0
Fine Gravel	6.0
Earth	
Sandy Silt	2.0
Silt Clay	3.5
Clay	6.0
Grass-Lined earth (slopes less than 5%)	
Bermuda Grass	6.0
Sandy Silt	8.0
Silt Clay	
Kentucky Blue Grass	
Sandy silt	5.0
Silt Clay	7.0
Poor Rock (usually sedimentary )	10.0
Soft sandstone	8.0
Soft Shale	3.5
Good Rock (usually igneous or hard metamorphic)	20.0

### 2.3 RAGAM PENGANGKUTAN ENDAPAN SUNGAI.

Definisi ragam pengangkutan secara fizikal adalah seperti dihurai di bawah :

Beban Endapan Dasar (*Bed Load*) : zarah endapan yang bergolek atau tergelincir di sepanjang dasar aliran.

Beban Endapan Terampai (*Suspended Load*) : zarah endapan kecil atau halaju jatuh rendah teriring dalam aliran oleh gelora aliran.

Jumlah Beban Bahan Dasar (*Total Bed Material Load*) : gabungan antara pengangkutan beban endapan dan beban terampai berasal dari saluran sungai.

Beban Hasil Hakis (*Wash Load*): zarah-zarah halus yang terhakis dari kawasan tadahan dan bergerak secara terampai. Setiap saiz zarah ini berbeza dari saiz bahan dasar. Einstein telah mencadangkan bahan hasil hakis diwakili oleh endapan yang mempunyai saiz lebih halus dari  $d_{10}$  (USACE, 1995, Julien, 2002). Manakala beban bahan dasar bagi endapan lebih besar dari  $d_{10}$ .

Jumlah Beban (*Total Load*) : gabungan antara jumlah beban bahan dasar dan beban hasil hakis.

Jadual 2.3 : Klasifikasi Ragam Pengangkutan Endapan Sungai (FIRSW, 2001)

		Classification System	
		Based on Mechanism of Transport	Based on Particle Size
Total sediment load	Wash load	Suspended load	Wash load
	Suspended bed-material load		Bed-material load
	Bed load	Bed load	

Jadual 2.4 (Featherstone & Nalluri, 2001) menunjukkan klasifikasi ragam pengangkutan melalui parameter boleh gerak (*movability parameter*).

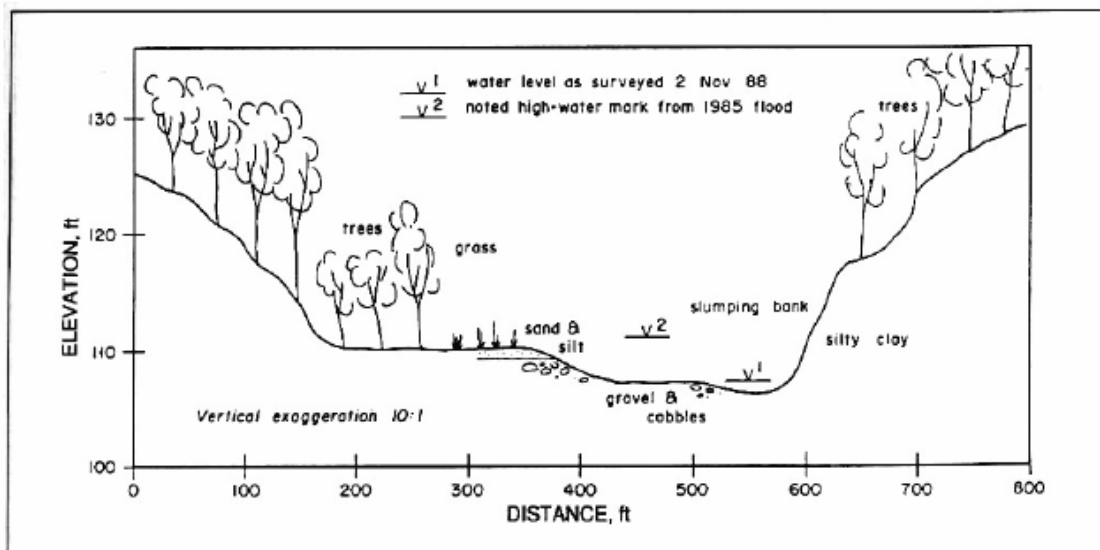
Jadual 2.4 : Definisi Ragam Pengangkutan Endapan Berdasarkan Parameter Boleh Gerak (Featherstone & Nalluri, 2001)

State of Suspension	Movability Parameter ( $U_* / W_s$ )	Mode Of Transport
Intensive Saltation	0.25	Bed Load
Lower-half in Suspension	1	
Particles Reach Surface	3	Suspended Load
Well Developed Suspension	20	
Homogeneity Suspension	200	

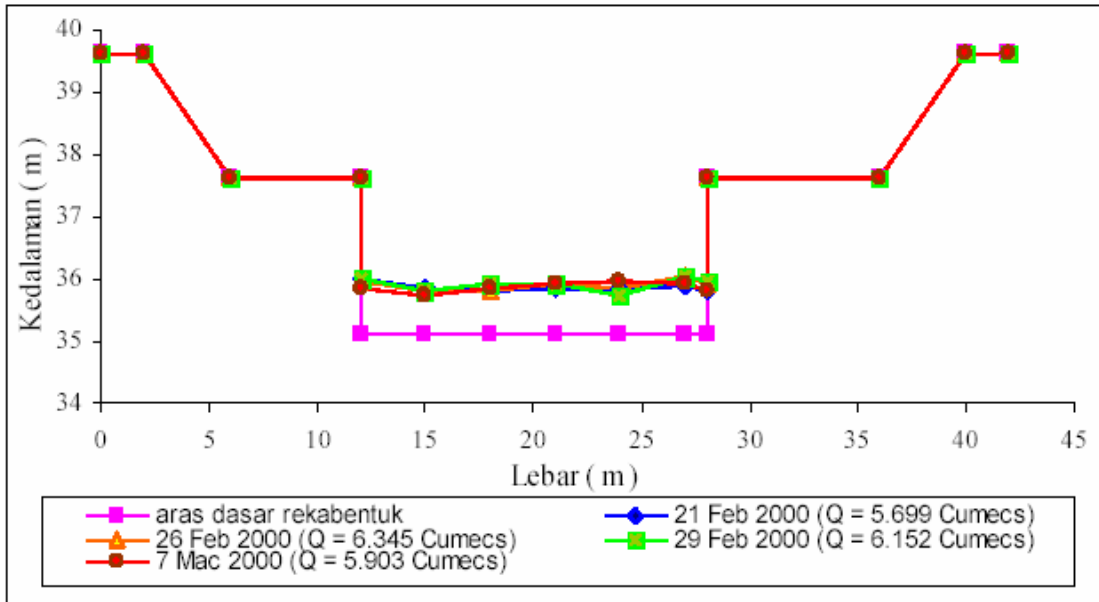


## 2.4 KERATAN RENTAS SUNGAI

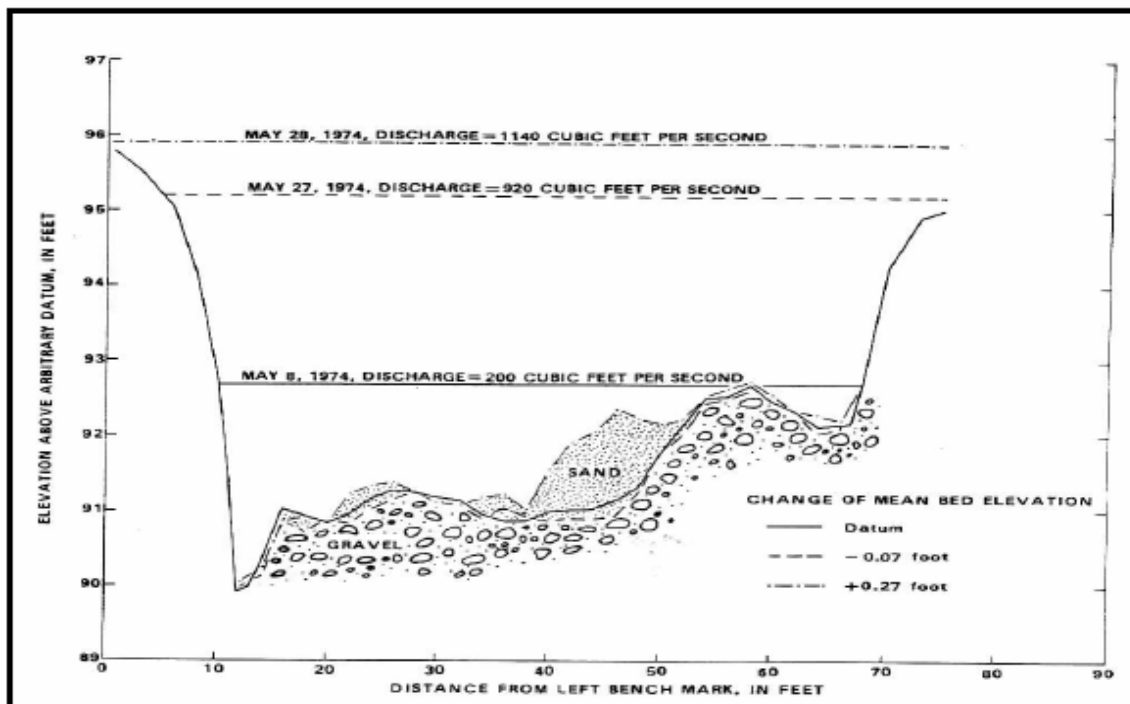
Dalam memilih keratan rentas sungai, faktor jenis *planform* seperti liku, lurus dan lebar saluran (ASCE, 1997) adalah faktor yang perlu diambil kira (Rajah 2.5). Kerja ukur keratan rentas sungai perlu memberikan butiran tentang jenis tumbuhan, perubahan jenis saiz bahan tebing, saiz bahan dasar dan paras air banjir semasa semasa kerja ukur dan banjir. Perubahan yang berlaku dalam lembangan menunjukkan tindakbalas hasil dari perubahan oleh keratan sungai sama ada secara semulajadi atau buatan. Rajah 2.6 meringkaskan perubahan keratan Sungai Pari bagi projek tebatan banjir (Ibrahim, 2002) dan Rajah 2.7 menunjukkan perubahan keratan untuk Sungai East Fork (Andrews, 1979).



Rajah 2.5 : Kerja Ukur Keratan Rentas Sungai (ASCE, 1997)



Rajah 2.6 : Perubahan Pada Keratan Sungai Projek Tebatan Banjir Sungai Pari (Taman Merdeka)(Ibrahim, 2002)



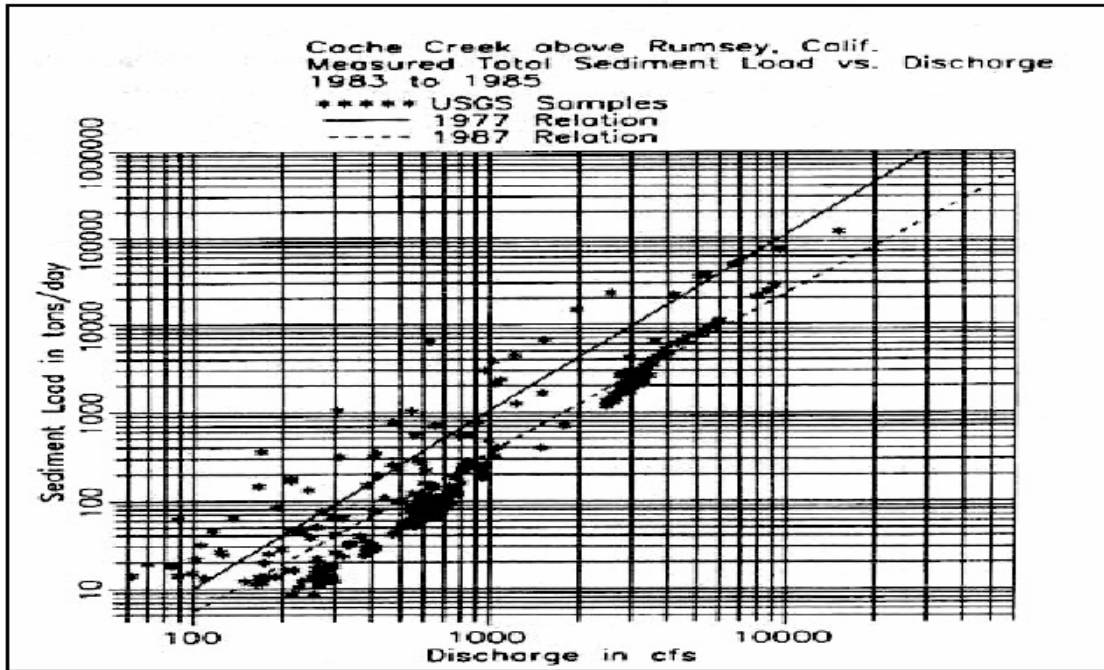
Rajah 2.7 :Perubahan Keratan Rentas Sungai East Fork (Andrews, 1979)

## **2.5 LENGKUNG KADAR PENGANGKUTAN ENDAPAN**

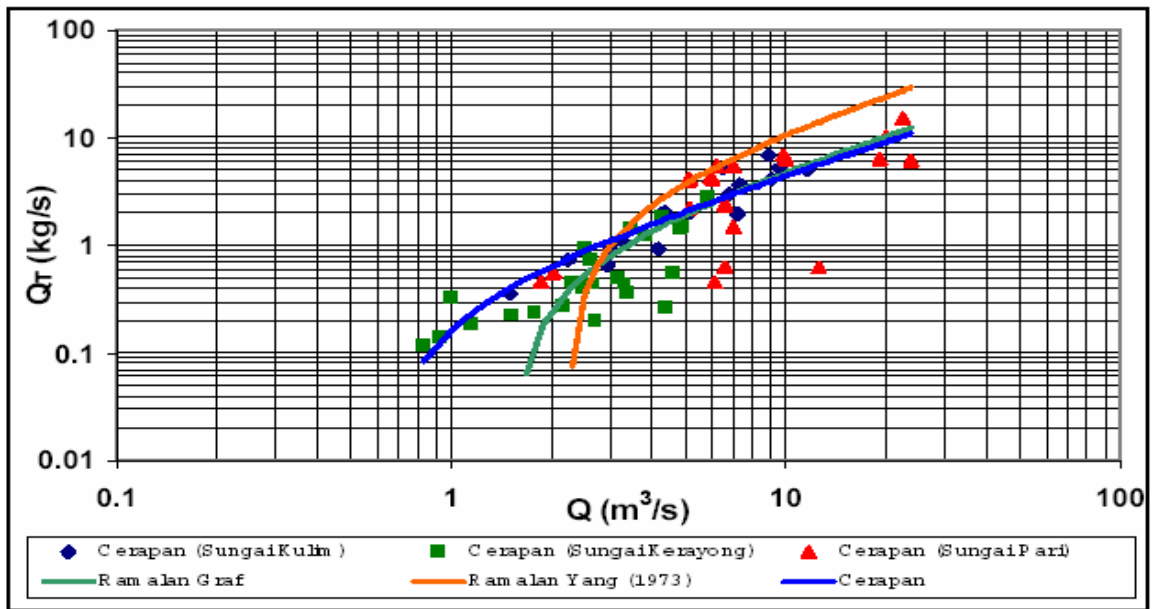
Sesuatu lengkung kadar pengangkutan endapan dapat memberi gambaran tentang keupayaan sungai membawa endapan bagi sesuatu lokasi atau stesyen (ASCE,1996).

Lengkung kadar pengangkutan adalah perhubungan antara pengendapan dan kadaralir sungai.Kajian oleh Karim & Kennedy (1990) telah menunjukkan satu perhubungan antara halaju, kadaralir endapan dan faktor geseran terhadap alluvium sungai.Banyak usaha yang dilakukan untuk mengaitkan pengangkutan endapan oleh sungai terhadap keadaan aliran seperti kadaralir, halaju dan tegasan ricih.Namun, kebanyakan kajian hanya bersifat universal kerana tidak menerangkan secara jelas dan terperinci.McBean & Al Nassri (1990) menerangkan bahawa kajian yang mengaitkan beban endapan terhadap kadaralir adalah bersifat samar-samar.

Pembangunan lengkung kadar pengangkutan endapan adalah berdasarkan data cerapan dan memerlukan beberapa plot yang mengaitkan jumlah beban endapan dengan kadaralir, halaju, cerun membujur, tegasan ricih, kuasa sungai atau unit kuasa sungai.Plot yang memberikan lengkung yang unik akan dipilih sebagai lengkung kadar pengangkutan endapan bagi stesyen tersebut (FISRWG, 2001).



Rajah 2.8 : Lengkung Kadar Pengangkutan bagi Cache Creek (ASCE,1996)



Rajah 2.9 : Lengkung Kadar Pengangkutan Untuk Sungai Pari, Sungai Kerayong dan Sungai Kulim. (Yahaya, 1999)

## **2.6 PEMODELAN PENGANGKUTAN ENDAPAN SUNGAI.**

### **2.6.1 Pengenalan**

Pembangunan yang pesat terhadap perkembangan kaedah matematik dan kemajuan teknologi komputer memberikan kemudahan dan kesenangan kepada para jurutera dan saintis. Pemodelan komputer dalam pengkajian terhadap proses morfodinamik sungai memerlukan simulasi ke atas aliran hidrodinamik, pemendapan dan penghakisan oleh endapan. Pemodelan menggunakan komputer dan pemodelan matematik memberikan kebaikan berbanding model secara tradisional iaitu dari segi keefektifan kos, mesra pengguna dan mudah diaplikasi untuk sebarang senario rekabentuk. Namun, ketepatannya banyak bergantung kepada formula matematik, program komputer dan pemahaman terhadap aliran dan pengangkutan endapan. Oleh itu, pemilihan dalam menentukan model pengangkutan endapan sangat penting kepada para jurutera dan para saintis untuk memastikan model berkenaan menepati dari segi ketepatan dan mematuhi aplikasi kejuruteraan.

Sungai secara amnya, terjadi secara semulajadi atau sebaliknya iaitu hasil dari aktiviti-aktiviti manusia seperti pembangunan, pembinaan jalan. Proses ini akan mengubah bentuk keseimbangan semulajadi sesuatu sungai.

Perubahan hasil dari aktiviti-aktiviti tersebut secara keseluruhannya adalah perubahan dalam kelebaran saluran dan paras dasar saluran. Perubahan-perubahan ini sangat berhubungan antara satu sama lain.

Pemodelan komputer sungai berperanan dalam meramal tindakbalas sungai terhadap perubahan yang berlaku, sama ada ianya secara semulajadi atau hasil aktiviti-aktiviti manusia. Melalui pemodelan sungai juga, pemilihan persamaan pengangkutan endapan sedia ada dapat dilakukan selain pembangunan lengkung kadar pengangkutan endapan (Chang, 1998).

Pemodelan komputer proses pengangkutan endapan adalah termasuk pemodelan beban dasar, beban terampai, interaksi antara endapan dasar dan endapan terampai, perubahan paras dasar, sub-permukaan penggredan bahan dan pemulihan tebing. Kadar pengangkutan beban dasar dan beban terampai biasanya diperolehi menggunakan perhubungan persamaan pengangkutan endapan berdasarkan eksperimen keseimbangan pengangkutan endapan.

Namun, terdapat beberapa masalah semasa mengaplikasikannya iaitu :

- a.) Ketidakseimbangan pengangkutan endapan di mana konsentrasi endapan terampai tidak sama dengan kapasiti aliran sungai.
- b.) Ketidakseragaman pelbagai saiz endapan.

Pemodelan-pemodelan matematik untuk pengangkutan endapan dilakukan berdasarkan ciri dan karakteristik endapan (Van Rijn, 1986). Model-model ini disahkan secara eksperimen melalui keseragaman dan ketidakseragaman data sahaja. Oleh yang demikian, ianya hanya boleh digunakan untuk menganggar

kualitatif sungai sebenar. Yen et al. (1992) telah mengkaji evolusi saluran dasar (*channel-bed evolution*) pada keadaan beban yang berlebihan diikuti ketakseragaman endapan pada keadaan beban berkurangan. Model ini disahkan dengan data bereksperimen tanpa perbandingan data di lapangan. Yeh et al. (1995) kemudian telah membangunkan model simulasi air dan pergerakan endapan dalam saluran alluvial mudah alih untuk dasar (*mobile-bed alluvial channel*) menggunakan ketidakseragaman bahan dasar. Bagi mengesahkan model ini, kombinasi 2 ciri partikel yang berbeza komposisi telah dikenalpasti. Melalui keputusan yang terhasil, didapati model tersebut memberikan maklumat berguna berhubung interaksi antara endapan tidak seragam dan kepelbagaian beban dasar. Namun demikian, model ini tidak dapat memberi simulasi yang baik untuk perbandingan dengan data di lapangan.

Pengangkutan endapan di dalam aliran memberi evolusi ke atas dasar sungai, muara dan tebing sungai. Pengangkutan endapan penting untuk memberi maklumat berkenaan fungsi asas dan jangka hayat sesuatu struktur hidraulik. Sebagai contoh, apabila empangan dibina di atas sungai alluvial, proses sedimentasi menyebabkan pengurangan ke atas takungan simpanan.

Eksperimen di makmal ke atas pengangkutan endapan secara am menghadapi banyak masalah kerana membabitkan kos yang tinggi dan masa yang terlalu panjang.

## 2.7 PEMODELAN 1-DIMENSI (*One-Dimensional Modeling*)

### 1.) Pengekalan dan Pemulihan Sungai : Kajian Kes Sungai Raia dan Sungai Pari (Darus, 2002)

Sungai Raia dan Sungai Pari adalah 2 contoh kawasan lembangan sungai yang mengalami perubahan akibat dari pembangunan setempat. Pembangunan di kawasan setempat menyebabkan kedua-dua sungai tersebut mengakibatkan peningkatan air larian pada permukaan dan seterusnya mengeluarkan hasil endapan yang tinggi.

Pemodelan menggunakan aplikasi Fluvial-12 yang merupakan salah satu contoh pemodelan 1-Dimensi, membolehkan pengenalpastian kesan ketidak stabilan di bahagian tebing saluran. Proses-proses penyelakuan yang dibuat adalah seperti berikut :

- a.) Keratan rentas sungai yang berlainan diambil berdasarkan kecerunan sisi, Kes 1 ( $z = 2.0$ ), Kes 2 ( $z = 1.5$ ) dan Kes 3 ( $z = 1.0$ ).

Pemerhatian terhadap kesan tindakbalas yang terjadi kepada keratan yang berkecondongan cerun sisi berbeza akan memberi pemahaman mengenai ciri keratan sungai yang lebih stabil terhadap kesan hakisan dan mendapan.



- b.) Faktor Kebolehakisan Tebing ( $F_h$ ), yang berlainan iaitu  $F_h = 1.0$  (Tebing Bolehakis Tinggi,  $F_h = 0.5$  (Tebing boleh Hakis Sederhana).

Faktor yang berbeza akan memberikan tindakbalas yang berbeza kepada kesan mendapan dan hakisan, juga terhadap kestabilan tebing keratan. Dalam kajian kes Sungai Raia di Perak, penggunaan Faktor Kebolehakisan Yang Tinggi digunakan disebabkan bahan tebing terdiri dari jenis pasir.

- c.) Nilai Manning yang berbeza  $n = 0.045$  dan  $n = 0.025$ .

Penggunaan nilai Manning yang berbeza, dapat menunjukkan perubahan keupayaan saluran bagi menampung kadar alir pada nilai maksimum dan kesannya kepada geometri saluran

- d.) Perubahan ruas yang berubah-ubah, dari ruas lurus ke ruas liku secara berulang-ulang.

Proses ini membolehkan pengesanan perubahan saluran yang terjadi.

Bagi setiap keratan yang dipilih diuji dengan perubahan kadar alir pada waktu puncak untuk memerhati perubahan dan tindakbalas yang berlaku. Maka, keratan rentas yg bertepatan akan menggunakan nilai Manning dan faktor kebolehakisan yang berlainan bagi tujuan pengujian.