

# PENGARUH VARIASI DEBIT AIR TERHADAP LAJU BED LOAD PADA SALURAN TERBUKA DENGAN POLA ALIRAN STEADY FLOW

Cahyono Ikhsan

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS Surakarta. Email : maxy@hotmail.com

## Abstract

*Sediment transport represents a nature phenomenon, which often becomes problems, whereas studies about sediment transport still a few, especially on elementary sediment transport or bedload movement. Sediment is strongly influenced by critical condition of grain.*

*This research has been conducted using experimental laboratory method and sediment transport appliance (apparatus flume) to determine the fac-tors influencing critical condition in each fraction, one of them is water debit. Critical debit for the diameter (D) of 2.36 mm; 1.18 mm; 0.85 mm; 0.30 mm; and 0.15 mm are  $2.9938 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  (ic = 2.1 %);  $2.478 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  (ic = 0.49%);  $1.498 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  (ic = 0.26 %);  $1.2462 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  (ic = 1.48 %);  $4.0837 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ , respectively.*

*The debits used are  $3.13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $3.79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $4.43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $5.79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $5.94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  and yield the transportation of sediment (qb) by  $1.166 \times 10^{-5} \text{ kg/s.m}$ ;  $1.285 \times 10^{-5} \text{ kg/s.m}$ ;  $1.320 \times 10^{-5} \text{ kg/s.m}$ ;  $1.388 \times 10^{-5} \text{ kg/s.m}$ ;  $1.457 \times 10^{-5} \text{ kg/s.m}$ , respectively. The increase of debit influences the rise of sediment transport..*

## Keywords:

*bedload, debit, sediment transport.*

## PENDAHULUAN

Angkutan sedimen dasar (*bed load*) sering menimbulkan masalah pada beberapa bangunan air yaitu terjadinya pengendapan di sepanjang saluran yang dilaluinya. Penelitian tentang sifat dan dinamika sedimen dasar (*bed load*) sangat diperlukan untuk mengetahui karakter sedimen tersebut terangkut.

Pemakaian rumus-rumus empiris kadang belum membantu dalam perencanaan suatu bangunan air, maka perlu ada upaya studi model atau riset di laboratorium agar perilaku angkutan sedimen dapat diketahui. Studi di laboratorium akan mampu mengetahui pula debit air yang diperlukan untuk menggerakkan sedimen dasar, kemiringan dasar yang optimal dan gradasi butir sedimen yang terangkut dapat diamati secara seksama.

Pengamatan terhadap laju sedimentasi dilakukan di saluran-saluran atau *flume* laboratorium. Selain mengalirkan air, saluran juga mengangkut sedimen berupa sedimen dasar (*bed load*) dan sedimen melayang (*suspended load*). Angkutan sedimen dasar bergerak di dasar secara menggelinding (*rolling*), menggeser (*sliding*), dan meloncat (*jumping*), pada dasar sungai. Angkutan sedimen melayang (*suspended load*) bergerak di atas dasar secara melayang dan dipengaruhi oleh gerak *turbulensi* aliran.

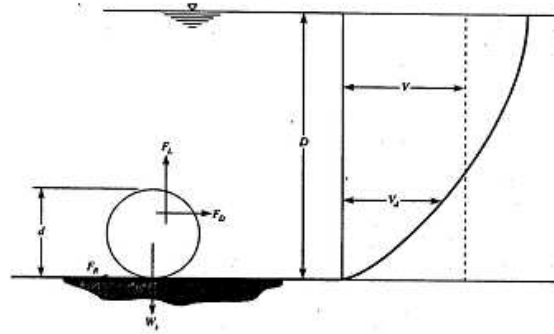
Perilaku aliran air pada saluran terbuka dapat diasumsikan sebagai berikut dalam penelitian ini:

1. Aliran merupakan *steady uniform flow*.
2. Material dasar yang digunakan pada penelitian adalah seragam.
3. Diameter fraksi butiran 2,36 mm; 1,18 mm; 0,85 mm; 0,30 mm dan 0,15 mm.
4. Pengamatan dilakukan sampai mencapai keadaan *suspended load*.
5. Analisis data menggunakan pengujian metode Einstein-Barbarosa

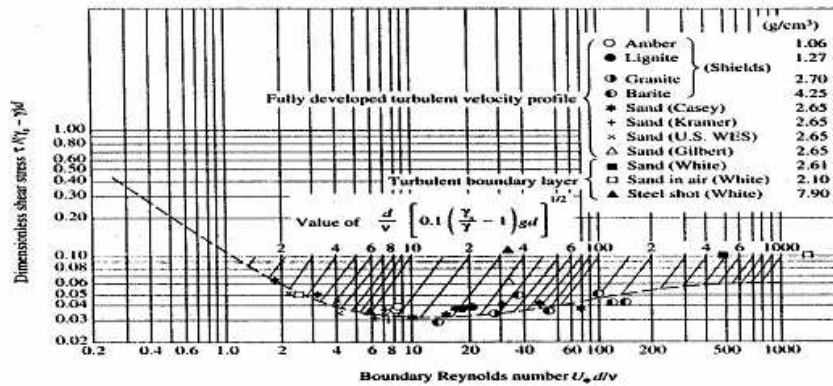
## Permulaan Gerak Butir Sedimen

Gaya yang bekerja pada suatu partikel sedimen bundar (*spherical*) pada suatu dasar saluran terbuka dilukiskan pada Gambar 1. Hampir setiap kriteria permulaan gerak butir diturunkan dari pendekatan tegangan geser atau pun kecepatan arus. Mengingat bahwa gerakan transpor sedimen dasar (*bed load*) mempunyai sifat stokastik, maka pendekatan secara probabilitas juga bisa digunakan.

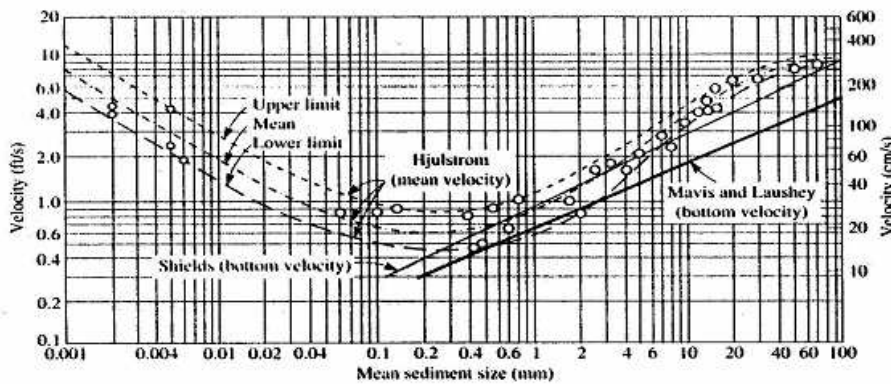
Teori permulaan gerak dengan pendekatan tegangan geser menurut Shield, 1936 dapat dilihat pada grafik di Gambar 2a. Secara umum sangat sulit untuk menghitung secara analitik berapa besar gaya-gaya yang bekerja pada partikel sedimen, sehingga dengan melakukan analisis dimensi dari beberapa parameter sehingga dapat membuat diagram permulaan gerak dengan pendekatan tegangan geser. Faktor yang berpengaruh dalam penetapan permulaan gerakan butir antara lain adalah tegangan geser, perbedaan rapat masa air dengan rapat massa sedimen, diameter partikel, angka kekentalan kinetik dan grafitasi bumi.



Gambar 1. Gaya spherical



Gambar 2a. Grafik tegangan geser



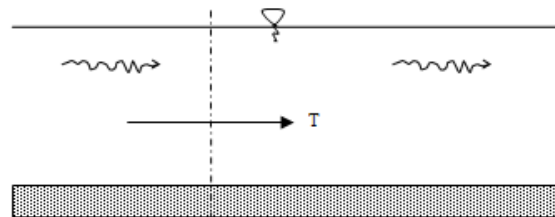
Gambar 2b. Grafik kecepatan kritis

Permulaan gerak dapat juga didekati dengan teori pendekatan kecepatan menurut Hjulstrom, 1935, dijelaskan pada grafik di Gambar 2b.

**Hjulstrom** melakukan analisis secara rinci dari berbagai data gerakan material seragam. Mengingat bahwa kecepatan didekat dasar saluran sangat sulit untuk diukur, namun tetap diasumsikan sangat berperan dalam menimbulkan gerakan sedimen dasar.

Gerakan angkutan sedimen merupakan perpindahan tempat bahan sedimen *granular (non kohesif)* oleh air yang sedang mengalir searah aliran. Banyaknya angkutan sedimen  $T$  dapat ditentukan dari

perpindahan tempat suatu sedimen yang melalui suatu tampang lintang selama periode waktu yang cukup, lihat Gambar 3,  $T$  dinyatakan dalam (berat, massa, volume) tiap satuan waktu.



Gambar 3. Tampang memanjang saluran dengan dasar granular

Pada saluran dengan dasar *mobile bed* (material sedimen non kohesif yang dapat bergerak), akan terjadi interaksi antara aliran dengan dasar. Perubahan aliran dapat menyebabkan terjadinya perubahan konfigurasi dasar (tinggi kekasaran). Jenis/phase dari konfigurasi dasar saluran tergantung dari sifat/jenis aliran dan bahan penyusun material dasar (pasir, kerikil)

$$u = 5,75 u_* \log \left( \frac{12R}{k} \right) \dots\dots\dots [1]$$

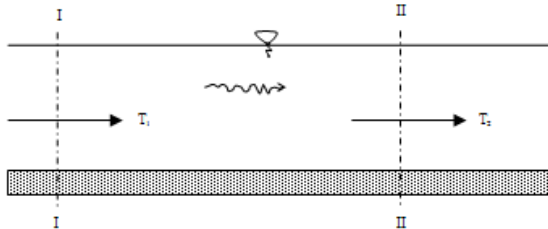
Nilai koefisien kekasaran selalu diperlukan pada setiap studi saluran terbuka dan umumnya ditetapkan konstan. Besarnya nilai koefisien kekasaran sangat bervariasi, tergantung rumus pendekatannya, dalam hal ini memakai persamaan Prandtl untuk tampang persegi dengan permukaan kasar,

$$\frac{V}{U_*} = 6,25 + 5,75 \log \frac{R}{k_s} \dots\dots\dots [2]$$

Khusus untuk saluran dengan dasar saluran berupa pasir, nilai  $k_s$  adalah ekivalen dengan diameter sedimen yaitu :

- $k_s = d_{65}$  (Einstein, 1950)
- $k_s = d_{90}$  (Meyer-Peter, Müller, 1948)
- $k_s = d_{85}$  (Simons dan Richard, 1966)

Laju sedimen yang terjadi bisa dalam kondisi seimbang (*equilibrium*), erosi (*erosion*), atau pengendapan (*deposition*), maka dapat ditentukan kuantitas sedimen yang terangkut dalam proses tersebut. Proses sedimentasi di dasar saluran ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Angkutan sedimen pada tampang panjang dengan dasar *granular*

Tabel 1 Proses sedimentasi

Perbandingan Jumlah T	Proses yang terjadi	
	Sedimen	Dasar
T1 = T2	Seimbang	Stabil
T1 < T2	Erosi	Degradasi
T1 > T2	Pengendapan	Agradasi

Adapun faktor-faktor penentu angkutan sedimen yaitu :

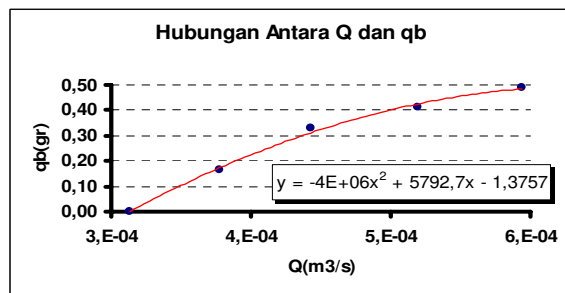
- Sifat-sifat aliran air (*flow characteristic*)
- Sifat-sifat sedimen (*sedimen characteristic*)
- Pengaruh timbal balik (*interaction*)

Menurut asalnya (*origin*) bahan dasar yang diangkut dapat dibedakan menjadi : [1] *Bed material transport*, yaitu asal bahan yang diangkut ada di dasar sungai, artinya angkutan ditentukan oleh keadaan dasar dan aliran. Dapat berupa *bed load* seperti: *boulder, gravel, cobbles* maupun *suspended load*. Dan [2] *Wash load*, yaitu sedimen yang diangkut hanya sebagian kecil dari dasar saluran setempat, kebanyakan berasal dari sumber luar (*erosion*) yang tidak mempunyai hubungan langsung dengan kondisi lokal. Sedimen dapat berupa *suspended load* dan butiran sedimennya sangat halus ( $d < 0,05$  mm), berupa *silt, clay, colloids*, butiran tersebut terlindung di antara butir-butir yang lebih besar dan hanya bisa terangkut bila terjadi *exposed*.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

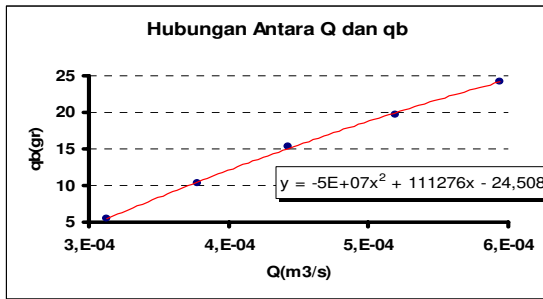
Data kecepatan *current meter* yang dimasukkan kedalam *flum apparatus*. Mengetahui jenis pola aliran dapat dilakukan pengukuran pada tiga titik, yaitu pada masing-masing tepi kiri-kanan dan tengah penampang aliran. Dipilih data yang dianggap paling mewakili yaitu pada tengah saluran. Pengukuran dilakukan pada tiga titik dalam arah horizontal *flum*.

Gerak awal butiran didasarkan pada kondisi kritis yang terjadi yaitu kondisi dimana kedudukan butiran sedimen mulai goyah dari keadaan setimbang atau keadaan diam. Terjadinya hal tersebut karena faktor yang mempengaruhi kondisi kritis mulai terlampaui. Salah satunya adalah debit kritis, yaitu debit maksimal yang mampu ditahan butiran untuk tetap atau diam dalam keadaan setimbang. Hasil-hasil yang dicapai ditunjukkan dalam Gambar 5 sampai dengan Gambar 9,



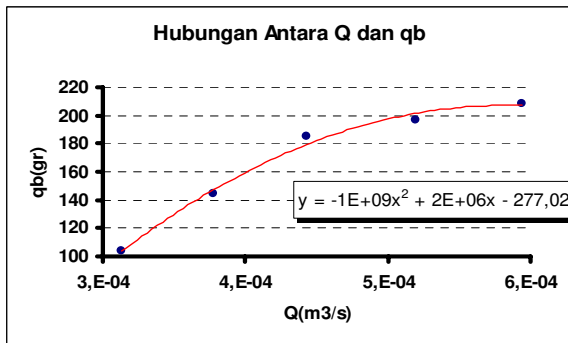
Gambar 5. Hubungan antara debit dan bedload pada diameter 2,36mm dengan kemiringan dasar saluran 2,5%.

Dari persamaan tersebut didapat debit kritis untuk butiran dengan diameter 2,36 adalah  $2,9938 \cdot 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s dengan kemiringan kritis ( $i_c = 2,1 \%$ )



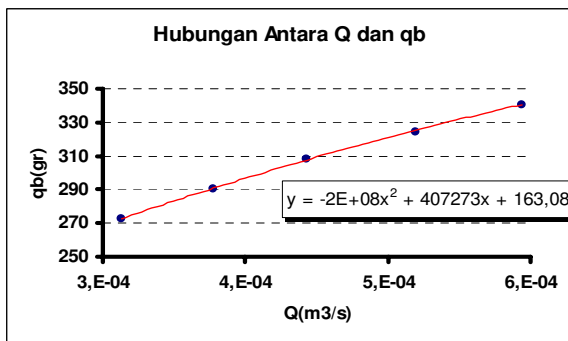
Gambar 6. Hubungan antara debit dan bedload pada diameter 1,18 mm dengan kemiringan dasar saluran 0,5 %.

Debit kritis untuk butiran dengan diameter 1,18mm adalah  $2,478 \cdot 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s dengan kemiringan kritis ( $i_c = 0,49 \%$ )



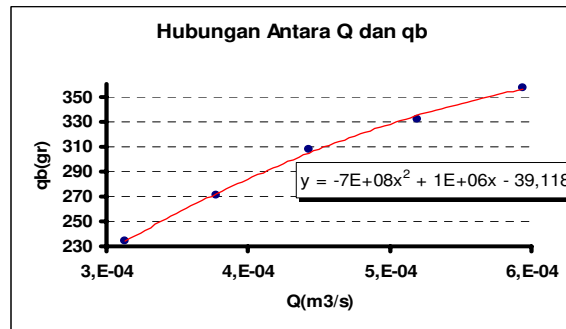
Gambar 7. Hubungan antara debit dan bedload pada diameter 0,85 mm dengan kemiringan dasar saluran 0,5 %.

Debit kritis untuk butiran dengan diameter 0,85 mm adalah  $1,498 \cdot 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s dengan kemiringan kritis ( $i_c = 0,26 \%$ )



Gambar 8. Hubungan antara debit dan bedload pada diameter 0,3 mm dengan kemiringan dasar saluran 0,5 %.

Debit kritis untuk butiran dengan diameter 0,3 mm adalah  $1,2462 \cdot 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s dengan kemiringan kritis ( $i_c = 1,48 \%$ )



Gambar 9. Hubungan antara debit dan bedload pada diameter 0,15 mm dengan kemiringan dasar saluran 0,5 %.

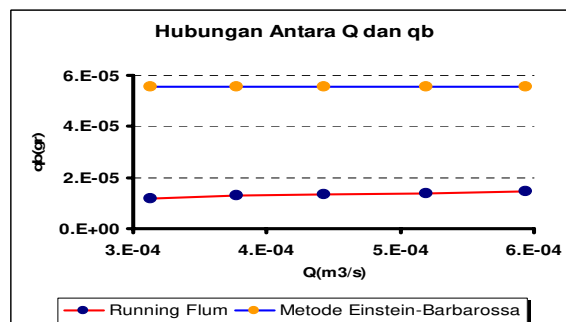
Debit kritis untuk butiran dengan diameter 0,15 mm adalah  $4,0837 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s.

Pada angkutan sedimen dasar secara langsung dalam satuan gram/0.077 m (lebar flum) dengan durasi untuk tiap sekali *running* adalah 30 menit dalam kg/s.m dilakukan konversi agar didapat satuan yang diinginkan, maka tiap data angkutan sedimen yang didapat perlu dikalikan dengan  $4.278 \times 10^{-8}$ .

Misal pada data diameter 0,3 mm, pada kemiringan 0.5 % dan debit I (QI) adalah 292,30 gram/0,077 m.30 menit sama dengan  $292,30 \times (4.278 \times 10^{-8}) = 1,25 \times 10^{-5}$  kg/m.s.

Data yang dipakai berdiameter 0,3 mm dan kemiringan 0,5 % maka data yang akan dikonversikan hanya pada diameter dan kemiringan tersebut

Adapun perhitungan secara manual dengan metode Einstein-Barbarossa disajikan pada grafik pada Gambar 10.



Gambar 10. Hubungan antara debit dan bedload pada analisis Enstain-Barbarossa dengan kondisi di Flum Laboratorium

Tabel 2. Tabel konversi berat angkutan sedimen dasar pada  $d = 0,3\text{mm}$  dan  $S=0,5\%$

Q (m <sup>3</sup> /s)	I (%)	D (mm)	t (menit)	Berat Angkutan Sedimen (gr/0.077m.30mnt)	Berat Angkutan Sedimen (Kg /s.m)
0,000313	0,5	0,3	30	272,68	$1,166 \times 10^{-5}$
0,000378	0,5	0,3	30	290,54	$1,285 \times 10^{-5}$
0,000443	0,5	0,3	30	308,40	$1,320 \times 10^{-5}$
0,0005185	0,5	0,3	30	324,55	$1,388 \times 10^{-5}$
0,000594	0,5	0,3	30	340,70	$1,457 \times 10^{-5}$

## SIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin kecil diameter butiran sedimen (D) cenderung semakin banyak *bed load* yang terangkut.
2. Semakin besar debit yang dialirkan, semakin banyak *bed load* yang terangkut.
3. Dari grafik hubungan antara debit dan angkutan sedimen didapatkan kecenderungan bahwa setelah melewati debit optimum, besarnya angkutan sedimen akan kembali menurun. Akan tetapi pada penelitian ini nilai debit optimum belum tercapai.
4. Besarnya *bed load* yang terangkut pada D 0,3 mm dengan kemiringan 0,5 % dengan debit  $3,13 \cdot 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ ;  $3,79 \cdot 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ ;  $4,43 \cdot 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ ;  $5,79 \cdot 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ ;  $5,94 \cdot 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$  dan dihasilkan angkutan sedimen (qb) secara berturut-turut  $1,166 \times 10^{-5} \text{kg/s.m}$ ;  $1,285 \times 10^{-5} \text{kg/s.m}$ ;  $1,320 \times 10^{-5} \text{kg/s.m}$ ;  $1,388 \times 10^{-5} \text{kg/s.m}$ ;  $1,457 \times 10^{-5} \text{kg/s.m}$ .

## REKOMENDASI

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, agar pada penelitian berikutnya didapatkan hasil yang lebih baik. Oleh karena itu penyusun menyarankan:

1. Perlu menggunakan beberapa metode penyelesaian untuk membandingkan hasil secara analisis agar didapatkan hasil yang lebih akurat.
2. Sebaiknya menggunakan pemodelan *sediment transport apparatus* dengan skala yang lebih besar untuk mendapatkan hasil yang lebih mendekati dengan keadaan dilapangan.
3. Perlu dilakukan modifikasi alat yang lebih baik supaya data yang didapat lebih akurat.
4. Perlu dilakukan penelitian yang sama dengan menggunakan diameter butiran yang tidak seragam.

## REFERENSI

- Chien, N., and Wan, Z., 1999, "Mechanics of Sediment Transport", American Society of Civil Engineers, Virginia.
- Chow, V.T., 1997, "Hidrolika Saluran-Terbuka" (terjemahan), Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Einstein, H. A., and Chien, N., 1995, "Effect of Heavy Sediment Concentration Near the Bed on Velocity and Sediment Distribution", M.R.D. Sediment Series No.8, University of California, Barkeley, California.
- Graf, 1984, "Hydroulics of Sediment Transport", 1<sup>st</sup> Edition, Book Crafters, Inc., Chesea, Michigan, U.S.A.
- Hongwei Fang, 2003, "Case Studies of Three-Dimensional Numerical Simulation For Total Sediment Transport", *International Journal of Sediment Research*, Vol. 18, No. 2, 2003, pp 158-165.
- Kironoto, dan Graf, 1994, "Turbulence Characteristics in Rough Uniform Open Channel Flow", *Water Maritime and Energy-Proceeding of The Institutions of Civil Engineers*, 106, pp. 333-344.
- Muste dan Patel, 1997, "Velocity Profiles for Particles and Liquid in Open-Channel Flow with Susupended Sediment", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 123, No.9,ASCE, pp. 742-751.
- Rijn, L.C.V., 1984, "Sediment Transport, Part II : Suspended Load Transport", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.110,No.11, ASCE, pp.1613-1641.
- White, M., Frank, 1986, "Fluid Mechanics", International Student Edition.
- Yang, C.T., 1996, "Sediment Transport Theory and Practice", The McGraw-Hill Companies,Inc, United States of America

