

## **KARAKTER POKOK BEBERAPA JENIS MODEL DAN KESESUAIAN UNTUK PENERAPAN DI BIDANG ANALISIS ANGKUTAN SEDIMEN**

### **Abstrak**

Dalam memahami suatu fenomena alam, maka untuk kondisi tertentu biasanya perlu membangun sebuah model. Sifat dan perilaku suatu sistem nyata dapat dipelajari melalui model yang dibangun baik model fisik maupun model matematik.

Dari penelitian pustaka dapat diyakinkan beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan pemodelan antara lain karakter model serta kesesuaian untuk penerapan pada bidang yang dimaksud. Dengan pemodelan yang sesuai beberapa permasalahan di bidang analisis angkutan sedimen dapat diselesaikan. Namun demikian masih sangat banyak permasalahan di bidang analisis angkutan sedimen yang hingga saat ini belum terselesaikan.

Diharapkan pada masa mendatang dengan kemajuan yang pesat di bidang teknologi komputer dan matematika, memungkinkan analisis angkutan sedimen semakin banyak diteliti melalui model matematik. Dari segi biaya dan waktu metode ini jauh lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan penggunaan model fisik.

Kata kunci : karakter model, angkutan sedimen, penerapan.

### **1. Pendahuluan**

Model memegang peranan penting di bidang ilmu pengetahuan, biasanya dari segi ekonomi untuk menghemat (waktu, biaya) ataupun komoditi berharga lainnya. Di sisi lain pemodelan dilakukan dengan maksud untuk menghindari resiko kerusakan pada sistem nyata. Untuk kondisi tertentu biasanya perlu membangun sebuah model yang mewakili sistem nyata serta mempelajarinya sebagai pengganti sistem nyata.

Penelitian pustaka yang dilakukan dalam kajian ini bermaksud mendapatkan beberapa kesimpulan strategis untuk menginspirasi penelitian lebih mendalam di bidang angkutan sedimen.

---

\* Staf pengajar pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado, mahasiswa S3 Program Studi Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

\*\* Staf pengajar pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, mahasiswa S3 Program Studi Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Di bidang teknik yang berhubungan dengan aliran masih banyak fenomena alam yang perlu diteliti ataupun permasalahan yang belum dapat diselesaikan Untuk maksud tersebut biasanya perlu membangun suatu model.

Suatu model tidak harus kompleks, untuk permasalahan yang sederhana pun bisa dimodelkan. Suatu model dibangun dengan tujuan tertentu, untuk menyelesaikan permasalahan tertentu Dengan demikian tidak mungkin suatu model mampu menyelesaikan / memenuhi berbagai tujuan sekaligus.

Model merupakan tiruan dari fenomena / permasalahan alam nyata. Untuk menirukan sistem alam nyata, diperlukan penyederhanaan sistem. Dengan demikian faktor-faktor dominan, yang sangat berpengaruh terhadap sistem mutlak disertakan ke dalam model.

Model yang baik, tidak harus mempunyai parameter yang sangat banyak, karena akan sangat sulit mengaplikasikannya. Namun, parameter juga tidak boleh terlalu sedikit, karena nantinya tidak mampu merepresentasikan sistem nyata secara akurat. Dengan demikian suatu model dinilai baik apabila memiliki jumlah parameter yang optimal sehingga mampu merepresentasikan sistem nyata secara akurat.

Pada proses pemodelan keadaan alam / sistem nyata disederhanakan, dilanjutkan dengan identifikasi parameter yang ada. Memasukkan parameter yang diduga berpengaruh cukup kuat, sedangkan untuk parameter yang kurang berpengaruh dapat diabaikan. Pemilihan parameter yang optimal sangat dipengaruhi oleh ketersediaan data.

Analisis angkutan sedimen sangat dibutuhkan untuk perancangan struktur bangunan sungai yang antara lain berupa pengaturan / pengendalian sungai, perbaikan navigasi, pengendalian banjir, perancangan saluran stabil, dan perencanaan umur waduk.

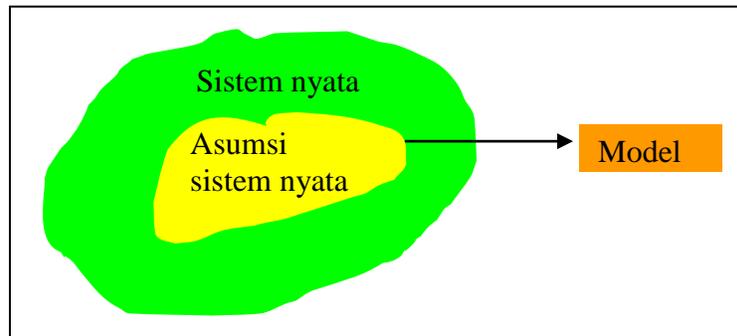
Pengetahuan mengenai angkutan sedimen akan memungkinkan dilakukannya analisis angkutan sedimen baik yang melayang maupun sedimen yang bergerak di dasar secara benar (Bambang A. Kironoto, 2001). Hal ini dapat diperoleh melalui model angkutan sedimen yang sesuai.

## **2. Pengertian Model**

Adakalanya lingkungan nyata terlalu rumit sehingga sekedar untuk memahaminya ataupun untuk mengkomunikasikan dengan orang lain diperlukan sebuah model yang

representatif. Dalam *operation research* (Phillips,1976), yang dimaksudkan dengan model adalah representasi sederhana dari sesuatu yang nyata.

Asumsi sistem nyata (lihat gambar 1) diwujudkan dari sistem nyata dengan menentukan faktor-faktor dominan (variabel, kendala dan parameter) yang mengendalikan perilaku dari sistem nyata (Taha,1992).



Gambar 1. Abstraksi Pemodelan (Taha,1992)

Dikenal tiga tipe model, yaitu : model fisik, model matematik dan model analog. Model Fisik merupakan tiruan permasalahan sistem alam nyata secara fisik, dengan skala lebih kecil, sama ataupun lebih besar. Model matematik adalah tiruan permasalahan alam nyata dengan menggunakan persamaan - persamaan matematik. Sedangkan yang dimaksud dengan model analog adalah tiruan permasalahan/ fenomena alam nyata dengan fenomena alam yang lain yang mempunyai kemiripan, yang selanjutnya dibuat bangunan fisiknya (Djoko Luknanto, 1993).

### 3. Model Fisik

Kerapkali suatu model berbentuk fisik. Pada model fisik replika atau tiruan dilaksanakan dengan menirukan domain/ ruang/ daerah dimana fenomena atau peristiwa alam tersebut terjadi. Fenomena / peristiwa atau bangunan di alam nyata yang ditirukan disebut prototipe. Tiruan ini dapat lebih besar ataupun lebih kecil dibandingkan dengan prototipenya. Kesesuaian model ditentukan oleh seberapa mungkin kesebangunan hidraulik (geometrik, dinamik, kinematik) di alam dapat ditirukan ke dalam model.

Yang dimaksudkan dengan sebangun geometrik adalah jika model dan prototipe mempunyai bentuk yang sama, dengan ukuran boleh berbeda. Perbandingan semua

dimensi yang ada adalah sama, (termasuk tinggi kekasarannya). Perbandingan ini disebut skala geometrik model.

Dikatakan sebangun kinematik apabila prototipe dan model sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan di dua titik yang bersangkutan pada prototipe dan model adalah sama di seluruh pengaliran.

Pengertian sebangun dinamik bilamana prototipe dan model sebangun geometrik maupun sebangun kinematik, dan perbandingan antara gaya- gaya pada dua titik yang bersangkutan pada prototipe dan model adalah sama dan searah.

Dengan model fisik, dapat diprediksi perilaku atau kinerja sistem baik berupa bangunan struktur ataupun fenomena alam, sehingga bilamana dalam pengamatan model dijumpai kekurangan- kekurangan maka akan segera diketahui, sehingga dapat dihindari pada kejadian alam yang sesungguhnya. Selain itu dengan model ini bisa dipelajari beberapa alternatif perancangan sehingga dapat dipilih rancangan bangunan yang paling optimum (Bambang Tri Atmojo,1993)

#### **4. Model Matematik**

Jenis model yang paling sering digunakan oleh para insinyur dan ilmuwan yaitu non fisik yang dikenal sebagai model matematik (Cooper,1977).

Model matematik adalah representasi ideal dari sistem nyata yang dijabarkan/ dinyatakan dalam bentuk simbol dan pernyataan matematik. Dengan kata lain model matematik merepresentasikan sebuah sistem dalam bentuk hubungan kuantitatif dan logika, berupa suatu persamaan matematik.

Model matematik seringkali digunakan untuk mempelajari fenomena alam nyata yang kompleks dengan cara analisis, serta menyelidiki hubungan antara parameter yang mempengaruhi fungsi sistem dalam proses yang kompleks.

Pada model matematik replika / tiruan dari fenomena / peristiwa alam dideskripsikan melalui satu set persamaan matematik. Kecocokan model terhadap fenomena alam yang dideskripsikan tergantung dari ketepatan formulasi persamaan matematiknya.

Dengan model matematik mempunyai lebih banyak keuntungan daripada mendeskripsikan permasalahan secara lisan, karena model ini mendeskripsikan permasalahan dengan sangat ringkas. Keseluruhan struktur permasalahan cenderung

menjadi lebih dapat dipahami, serta membantu mengungkapkan hubungan sebab – akibat yang penting.

Ketika mengembangkan model matematik, pendekatan yang baik yaitu memulai dengan versi yang sangat sederhana kemudian mengarah pada pengembangan model yang lebih terperinci yang mencerminkan kekompleksan dari sistem nyata.

Model matematik dapat digunakan baik untuk tujuan optimasi maupun bukan optimasi. Model matematik untuk tujuan optimasi, dinamakan model optimasi. Pembentukan suatu model optimasi, dimulai dengan menentukan variabel, kendala dan tujuan (Taha, 1992). Bilamana terdapat keputusan sejumlah  $n$  hubungan terukur ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) yang akan dibuat, dinyatakan sebagai variable keputusan, dimana masing - masing nilainya akan ditentukan. Dengan hasil pengukuran yang tepat / sesuai kemudian diekspresikan sebagai fungsi matematik dari variabel keputusan. Misalnya ( $P = 3x_1 + 2x_2 + \dots + 5x_n$ ) persamaan ini dinamakan fungsi tujuan. Dalam variabel keputusan dapat juga disertakan suatu nilai yang membatasi, misalnya ( $x_1 + 3 x_1 x_2 + 2 x_2 \leq 10$ ), pernyataan ini disebut kendala.

Model matematik yang bukan untuk optimasi, bisa diselesaikan secara analitis atau numeris, dengan bantuan komputer. Penyelesaian secara analitis adalah penyelesaian yang paling diharapkan, dimana penyelesaiannya berlaku secara menerus. Akan tetapi banyak permasalahan yang tidak dapat diselesaikan secara analitis karena sulitnya permasalahan. Jika demikian maka penyelesaiannya secara numeris yaitu penyelesaian yang berlaku secara diskrit, pada titik- titik hitung saja.

Kalibrasi pada model matematika adalah suatu keharusan, dengan kalibrasi diharapkan akan didapat harga koefisien empiris (konstanta) yang dipakai dalam model (Budi WS, 1988). Selanjutnya untuk menguji validitas model dilakukan verifikasi, yaitu menguji model dengan memasukkan *input* lain yang ada, harus menghasilkan pasangan *output* yang sesuai. Setelah melalui tahap kalibrasi dan verifikasi, model dianggap sudah valid / baik untuk mewakili sistem nyata, dengan demikian dapat dilakukan simulasi.

Dari hasil simulasi didapatkan karakteristik *output* dari suatu *input*. Masukan yang menghasilkan keluaran yang baik, menjadi dasar untuk strategi mengatur rekayasa sistem/ fenomena alam nyata yang dimodelkan.

## 5. Model Analog

Permasalahan / fenomena alam nyata dianalogikan dengan fenomena alam yang lain, yang selanjutnya dibuat model fisik. Sebagai contoh yaitu Fenomena aliran air tanah dibawah bendung, ditirukan dengan model yang menggunakan arus listrik (Djoko Luknanto, 1993).

## 6. Beberapa contoh Model Angkutan Sedimen

Beberapa contoh penggunaan model fisik pada analisis angkutan sedimen seperti berikut ini. Shields, Fortier dan Scobey, Hjulstrom dan ASCE, Malvis dan Laushey, Yang, Meyer, Peter dan Muller , serta dari USBR menggunakan model fisik untuk mempelajari permulaan gerak butiran. Du Boy's, Shield, Meyer dan Peter, Meyer, Peter dan Muller, juga Schocklitsch membuat model fisik dalam meneliti angkutan sedimen dasar. Penelitian Einstein, Brooke, Simon, Chang dan Richardson, mengenai angkutan suspensi juga menggunakan model fisik (Vanoni, 1977). Hjulstorm (1935), membuat model fisik untuk menentukan kriteria erosi dan sedimentasi pada butiran seragam. Rouse (1937) dengan model fisik meneliti Koefisien  $C_D$  sebagai fungsi angka  $Re$ . Lane (1953) membuat model fisik untuk meneliti tegangan geser maksimum pada saluran .US Inter Agency Committee (1957), meneliti hubungan kecepatan jatuh dengan diameter *sieve* menggunakan model kecepatan jatuh butiran sedimen. Model koefisien Drag ( $C_D$ ) oleh Graf dan Acargoglu (1966) meneliti hubungan koef.  $C_D$  dengan angka  $Re$  untuk sedimen berbentuk butiran. Model fisik juga digunakan oleh Einstein (1950), Engelund dan Hansen (1966), Simon dan Richardson (1966) dalam mempelajari konfigurasi dasar. Kecepatan kritik sebagai fungsi ukuran butiran rerata (Vanoni, 1977). Yang (1976) dengan model fisik meneliti hubungan *unit Stream power* dan kedalaman air pada butiran pasir dengan diameter 0,19 mm. Schvidchenko (1998), membuat model hidraulik angkutan sedimen dasar pada sungai berbatu.

Analisis angkutan sedimen juga telah banyak dilakukan dengan model matematik. Beberapa diantaranya seperti berikut ini. Vigilar dkk (1977), membuat model numeris saluran stabil dengan dasar bergerak yang merupakan rumus dan penyelesaian numeris saluran stabil dengan dasar bergerak. Model numerik 2-D transport sedimen aliran tidak tetap (Kaseem, 1996). Scarlatos dkk (1997), membuat model angkutan sedimen halus untuk Analisis angkutan sedimen halus dalam saluran. Peter R.W (1998), membuat

model 2 fraksi permulaan gerak sedimen pada dasar sungai. Di Stefano (2000), dengan model matematik meneliti pengaruh kelengkungan lereng terhadap proses erosi tanah dan deposisi. Model matematik juga dapat digunakan untuk kebutuhan pengelolaan. Sebagai contoh yaitu penggunaan teknik pemodelan sedimen terhadap berbagai kebutuhan pengelolaan sungai Eden, Cumbria, UK (Walker,2001). Menggunakan model matematik (Chang, 2002) melakukan simulasi proses penyebaran angkutan dasar.

Selain kedua tipe pemodelan tersebut di atas, ada pula jenis pemodelan gabungan. Secara prinsip merupakan model matematik, namun pada beberapa bagian dibantu dengan model fisik. Sebagai contoh: model angkutan sedimen total (Einstein,1950), model angkutan sedimen total (Yang, 1972).

Untuk model analog belum ditemukan penerapannya pada bidang analisis angkutan sedimen. Dengan kata lain belum ada permasalahan dalam angkutan sedimen, dimana penyelesaiannya menggunakan model analog

## **7. Kesesuaian untuk Penerapan di Bidang Analisis Angkutan Sedimen**

Beberapa permasalahan di bidang analisis angkutan sedimen yang belum bisa diselesaikan dengan persamaan matematika, ternyata dapat diteliti dengan model fisik. Walaupun demikian ada kesulitan pada pemodelan jenis ini dimana harus memenuhi syarat kesebangunan hidraulik untuk seluruh parameter yang ada. Sebagai contoh yaitu kesulitan dalam membuat model saluran dengan tinggi kekasaran memenuhi skala panjang yang ada. Contoh lainnya berupa kesulitan untuk pemodelan sungai yang panjang dimana harus memenuhi skala panjang yang ada. Kendala lainnya karena dibutuhkan ketelitian pengamatan, kecanggihan peralatan penunjang, waktu yang lebih panjang, serta tenaga dan biaya yang lebih besar bilamana dibandingkan dengan model matematik.

Sebaliknya permasalahan di bidang analisis angkutan sedimen yang sudah ditemukan persamaan matematiknya, akan semakin baik diteliti dengan model matematik, karena lebih menghemat waktu dan biaya. Kesulitan dalam pemodelan jenis ini terletak pada perumusan dan penyelesaian persamaan matematika serta pengukuran lapangan untuk kalibrasi dan verifikasi. Untuk lebih memahami kriteria pokok dan kesesuaian penerapan di bidang analisis angkutan sedimen, maka uraian disajikan dalam tabel berikut ini

**Tabel 1. Karakter Pokok Beberapa Jenis Model dan Kesesuaian Penerapan di Bidang analisis Angkutan Sedimen**

No.	Jenis Model	Karakter Model	Kesesuaian Penerapan di Bidang Analisis Angkutan Sedimen	Beberapa Contoh Model Analisis Angkutan Sedimen	Keterangan
1	<b>Fisik</b>	<p>1.Replika / tiruan sistem alam nyata secara fisik dengan skala lebih besar ataupun lebih kecil</p> <p>2.Kesesuaian model tergantung dari kesebangunan yang dapat ditirukan</p> <p>3.Perilaku sistem dapat dipelajari secara visual</p>	<p>1.Sulit menirukan semua kesebangunan untuk parameter dan variabel utama yang berpengaruh pada sistem angkutan sedimen.</p> <p>2.Sistem angkutan sedimen sangat kompleks.Dengan model fisik sulit untuk mencermati interaksi antar parameter dan variabel secara visual.</p> <p>3.Akurasi hasil tergantung dari pelaksanaan pemodelan, serta ketelitian pengamatan.</p> <p>3.Membutuhkan lebih banyak waktu, tenaga, juga biaya.</p>	<p>1.Model koef Drag (<math>C_D</math>) oleh Rouse (1937), Graf dan Acargoglu (1966),</p> <p>2.Model permulaan gerak butiran, oleh Shield, Fortier dan Scobey, dll</p> <p>3.Model konfigurasi dasar, oleh Engelund dan Hansen (1966)</p> <p>4.Model angkutan sedimen dasar, oleh Du Boy's, Shield, MPM.</p>	<p>1.Memerlukan peralatan dan perlengkapan yang spesifik untuk dapat menjalankan model.</p> <p>2.Di Indonesia kendala untuk pelaksanaan model fisik, antara lain oleh keterbatasan peralatan dan perlengkapan.</p>
2	<b>Matematik</b>	<p>1.Sistem nyata direpresentasikan ke dalam persamaan matematik</p> <p>2.Mendeskripsikan parameter sistem melalui variabel, tujuan dan kendala.</p> <p>3.Mempelajari suatu sistem yang kompleks dengan cara analisis, dimana penggunaan model fisik menjadi tidak memungkinkan.</p> <p>4.Akurasi model diperoleh melalui tahap kalibrasi dan verifikasi.</p> <p>5.Penyelesaian secara analitis ataupun numeris dengan bantuan komputer.</p>	<p>1.Dari data yang tersedia antara lain berupa : data karakteristik aliran, saluran dan sedimen kemudian dibuat persamaan matematik, yang sesuai dengan tujuan pemodelan.</p> <p>2 Dengan berbagai input model melalui simulasi menghasilkan beberapa output sebagai alternatif, sehingga dapat dipilih solusi yang optimal.</p> <p>3.Model dapat digunakan untuk mempelajari perilaku serta hubungan interaksi antar beberapa parameter dan variabel yang mempengaruhi sistem angkutan sedimen.</p>	<p>1.Simulasi proses penyebaran Bed load (Chang,2002).</p> <p>2.Penggunaan teknik pemodelan sedimen terhadap berbagai kebutuhan dari pengelolaan sungai Eden,Cumbria,UK (Walker,2001)</p> <p>3.Pengaruh kelengkungan lereng terhadap proses erosi tanah dan deposisi (DiStefano,2000).</p> <p>4.Model 2-fraksi permulaan gerak sedimen pada dasar sungai (Peter R.W.,1998)</p> <p>5.Vigilar dkk (1977) membuat model numeris saluran stabil dengan dasar bergerak.</p>	<p>1. Memerlukan penguasaan di bidang matematik terutama yang berhubungan dengan pemodelan.</p> <p>2.Memahami karakter model sehingga mampu menganalisis dengan cermat setiap perilaku model.</p>

## **8. Kesimpulan**

- 1) Terdapat beberapa jenis model dengan karakter pokok masing-masing untuk menyelesaikan permasalahan.
- 2) Dalam menentukan jenis model yang nantinya digunakan maka hal penting yang perlu diperhatikan yaitu kesesuaian karakter model terhadap permasalahan yang akan diteliti.
- 3) Model dikatakan berhasil baik bilamana mampu menghasilkan keluaran yang akurat, sesuai dengan tujuan pemodelan.
- 4) Diharapkan pada masa mendatang dengan kemajuan yang pesat di bidang teknologi komputer dan matematika, menjadikan analisis angkutan sedimen semakin banyak diteliti melalui model matematik. Dari segi biaya dan waktu pilihan ini jauh lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan penggunaan model fisik.

## **9. S a r a n**

- 1) Dalam pemodelan sebaiknya dibangun suatu model yang sederhana namun dapat merepresentasikan dengan akurat permasalahan yang diteliti .
- 2) Sehubungan dengan kemungkinan keterbatasan peralatan penunjang yang tersedia maka untuk model fisik diperlukan modifikasi sedemikian rupa, sehingga maksud pemodelan masih dapat terpenuhi.

## **10. Ucapan Terima kasih**

Disampaikan terima kasih kepada :

- 1) Prof.Dr.Ir.Sudjarwadi,M.Eng., untuk arahan bimbingan serta dukungan sehingga makalah ini dapat dipresentasikan.
- 2) Grup Sumberdaya Air Studio Mino, atas segala perhatian serta bantuan.
- 3) Grup diskusi mahasiswa Pascasarjana Laboratorium Hidraulika JTS FT UGM untuk semua masukan berupa ide, saran juga koreksi, bahkan dukungan moril serta materil. Atas semua dukungan serta bantuan yang telah diberikan, sekali lagi kami sampaikan banyak terima kasih.Kiranya Tuhan memberkati.Amin.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bambang A. Kironoto, 2001, “Teknik ‘ Sedimen”, Jurusan T. Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Bambang Tri Atmojo, 1992, “Metode Numerik”, Beta Offset, Yogyakarta.
- Bambang Tri Atmojo, 1993, “Hidrolika II”, Beta Offset, Yogyakarta.
- Budi WS, 1988, “Hidrolika Saluran Terbuka”, Kursus Singkat Hidrodinamika Sungai dan Estuari, PAU Ilmu Teknik UGM.
- Chang,Shou-Young, and Yen,Chin-Lien, 2002, “Simulation of Bed Load Dispersion Process”, Journal of Hydraulics Engineering Vol 123, Mar, p. 331-342.
- Cooper, L., Bhat, U.N. and LeBlanc, L.J., 1977, “Introduction to Operation Research Models”, W.B. Saunders Company, Philadelphia, p. 7-8.
- Di Stefano, C.; Ferro, V; and Porto, P., 2000, “Slope Curvature Influence on Soil Erosion and deposition”, water Resources Research, Vol 136, Feb, p. 607-612.
- Djoko Luknanto, 1993, “Model Matematika”, makalah, PAU Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kaseem, Ahmed A., 1996, “Two dimensional numerical modeling of sediment transport in Unsteady open channel flows”, Washington State University, pp 156.
- Peter R. Wilcock, 1998, “Two Fraction Model of Initial Sediment Motion in Gravel Bed Rivers”, [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org), Vol 128, April, p. 410-412.
- Philips,D.T., Ravindran A and Solberg. J., 1976, “*Operation Research Principles and Practice*”, John Wiley & Sons, Inc, Toronto.
- Scarlato D., Panagiotis, and Lin Li, 1997, “Analysis of fine-grained sediment movement in small canals”, Journal of Hydraulics Engineering, Vol 123, no 3, March.
- Taha, H. A., 1992, “Operation Research An Introduction”, Macmillan Publishing Company, New York.
- Vigilar G.Jr, Gregorio and Diplas, Panayiotis, 1997, “Stable channels with mobile bed formulation and solution”, Journal of Hydraulics Engineering, Vol 123, no 3, March.
- Walker, J., 2001, “The Use of sediment modeling techniques to address the differing needs of management on the river Eden”, *Cumbria, UK*, Water & Environmental Management Journal, Vol 15, Nov, p. 252-257.
- Yang, C. T., 1996, “Sediment Transport”, The Macgraw Hill Companies Inc., New York.

