

Pengembangan Model Erosi Bantaran Sungai Untuk Memodelkan Genangan Banjir Dengan Menggunakan Metode Numerik 2 Dimensi (Studi Kasus : Banjir Bandang 2006 Di Kabupaten Jember)

Peneliti : Januar Fery Irawan¹, Syamsul Arifin²

Mahasiswa Terlibat : -

Sumber Dana : DIPA UNEJ

Kontak email : januar_ir@yahoo.com

Diseminasi : belum ada

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Jember

² Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Jember

ABSTRAK

Bencana banjir yang terjadi tahun 2006 di daerah aliran sungai Dinoyo Kabupaten Jember masih membawa ancaman yang serius karena adanya korban jiwa dan kerugian material yang sangat besar. Guna mengantisipasi kerugian yang sama di masa mendatang diperlukan peningkatan kemampuan manajemen sungai melalui pembuatan model pengendalian debit di bangunan-bangunan infrastruktur pengendali banjir.

Tujuan penelitian ini adalah (1) menghasilkan model untuk meningkatkan kemampuan bangunan pengendali banjir melalui strategi pengendalian debit banjir yang mungkin terjadi meningkatnya curah hujan, (2) Menguji perilaku kedalaman dan kecepatan aliran sesuai model yang ditentukan untuk mengetahui genangan banjir yang sesuai dengan kondisi banjir di lapangan. Penelitian dilakukan di wilayah aliran sungai Dinoyo untuk mengevaluasi model aliran 2 dimensi dan membuat simulasi yang mendekati dengan hasil di lapangan.

Hasil komputasi memperlihatkan bahwa pada saat banjir bandang terjadi pada lokasi pengamatan memiliki kedalaman 2,5 m. Sedangkan, kecepatan aliran banjir pada yang terjadi pada saat adalah 7,53 m/s. Hasil ini menunjukkan kesesuaian dengan hasil pengamatan morfologi yang terjadi setelah banjir bandang di wilayah studi.

Kata kunci : model, numerik, 2 dimensi, genangan banjir, saluran

**PENGEMBANGAN MODEL EROSI BANTARAN SUNGAI UNTUK
MEMODELKAN GENANGAN BANJIR DENGAN MENGGUNAKAN METODE
NUMERIK 2 DIMENSI (STUDI KASUS : BANJIR BANDANG 2006 DI
KABUPATEN JEMBER)**

LATAR BELAKANG DAN TUJUAN PENELITIAN

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki curah hujan yang tinggi. Seringkali curah hujan tinggi menjadi penyebab meluapnya air sungai sehingga mengakibatkan terjadinya bencana banjir. Namun curah hujan tinggi bukanlah satu-satunya pelaku penyebab banjir. Berdasarkan fakta di lokasi sampel dan hasil kajian, dapat diidentifikasi beberapa penyebab banjir secara biofisik yaitu: curah hujan tinggi, karakteristik DAS yang responsif terhadap banjir, penyempitan saluran drainase, dan perubahan penutupan lahan (*Banjir, Penyebab, dan Solusinya*. Tim Peneliti BTP DAS Surakarta. 2002). Sedangkan secara sosial, ekonomi, dan budaya, banjir disebabkan karena tiga hal, yaitu: tidak tegasnya penegakan hukum, perilaku masyarakat yang kurang sadar akan lingkungan, dan timpangnya pembangunan (*Banjir, Penyebab, dan Solusinya*. Tim Peneliti BTP DAS Surakarta. 2002).

Beberapa banjir besar yang terjadi di Indonesia telah menimbulkan banyak korban jiwa dan kerugian material sangat besar bagi pemerintah daerah maupun pusat. Sejak tahun 2005, banjir besar yang tercatat terjadi di Indonesia diantaranya adalah: (1) Banjir di Jakarta tahun 2005 yang membanjiri 17 kelurahan dengan kerugian yang mencapai 13 miliar (Tempo Interaktif, 2005); (2) Banjir Bandang di Panti, Jember, tahun 2006 yang merusakkan 2400 rumah, 6 jembatan, dan menyebabkan 87 korban jiwa (WALHI, 2006); (3) Banjir di Jakarta pada Februari 2007 yang menyebabkan korban jiwa 80 orang dan kerugian 5,2 T (BAPPENAS, 2007); (4) Banjir di Bondowoso pada 8-9 Februari 2008 dan di Situbondo pada tahun 2008 yang menghanyutkan 639 rumah dan 6 jembatan rusak (Departemen PU, 2009).

Berdasarkan fakta diatas bahwa kerusakan dan kerugian yang diakibatkan oleh bencana banjir dari tahun ke tahun cukup besar, maka dipandang perlu untuk melakukan

pengendalian dan peringatan dini terhadap bencana banjir. Dalam konsep pengendalian banjir dan peringatan dini, peramalan banjir melalui penelusuran banjir merupakan teknik yang paling penting untuk mendapatkan penyelesaian lengkap masalah tersebut. Agar dapat memenuhi keperluan tersebut, maka pemodelan banjir dipandang sebagai prosedur yang dibutuhkan dalam penelusuran banjir untuk menentukan hidrograf suatu titik di hilir dari hidrograf yang diketahui dari suatu titik di hulu. Salah satu cara yang dapat menyelesaikan masalah banjir adalah dengan menggunakan metode hidrolika. Metode hidrolika numerik memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode hidrologi karena dapat mengetahui gerakan gelombang banjir yang terjadi apabila ada perubahan hidrolika aliran. (E.V. Nensi R and Ven Te Chow, 1997).

Dalam menghadapi kemungkinan kerusakan parah akibat gelombang banjir yang sangat besar pada bantaran sungai saat banjir serta keruntuhan bangunan infrastruktur akibat arus turbulensi, diperlukan penelitian mengenai strategi pengelolaan manajemen sungai melalui simulasi model aliran banjir sehingga dapat diketahui daerah yang rawan dengan banjir. Dengan simulasi numerik 2 dimensi yang mendekati keadaan sebenarnya, diharapkan banjir dapat diantisipasi lebih awal.

LANDASAN TEORI

Persamaan hidrodinamika 2 dimensi aliran merupakan vektor aliran fluida dan sedimen. Dengan persamaan kontinuitas aliran fluida dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots(4)$$

Persamaan 4 diturunkan dari penggunaan hukum kekekalan massa pada fluida dan aliran sedimen.

Hukum kekekalan momentum adalah hukum kedua Newton yang menghasilkan persamaan vektor juga dan dikenal dengan hukum momentum. Dengan menggunakan asumsi aliran tidak tertekan dan koefisien viskositas konstan, Persamaan momentum 2 dimensi dapat dinyatakan menjadi:

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + hv_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots(6)$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hv^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + hv_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots(7)$$

dimana u and v adalah komponen kecepatan kedalaman rata-rata pada arah x dan y , h adalah kedalaman air, x and y adalah notasi koordinat koortogonal, t adalah waktu, g adalah percepatan gravitasi, H adalah elevasi permukaan air, ρ adalah densitas air, τ_{bx} and τ_{by} adalah *bed shear stress* pada arah x dan y , ν_t adalah koefisien viskositas.

Karena perhitungan kedalaman rata-rata dan dapat dipergunakan untuk saluran yang relatif lebar dan dangkal, maka persamaan ini disebut dengan persamaan aliran dangkal. *Shear Stress* di bagian dasar dimodel berdasarkan pada jenis dasar sungai. *Shear stress* di dasar saluran dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} = C_d \bar{u} \sqrt{\bar{u}^{-2} + \bar{v}^{-2}} \quad \text{and} \quad \frac{\tau_{by}}{\rho} = C_d \bar{v} \sqrt{\bar{u}^{-2} + \bar{v}^{-2}} \dots\dots\dots(8)$$

dimana C_d adalah koefisien gesekan dan dinyatakan dengan resultan kecepatan kedalaman rata-rata atau $\sqrt{\bar{u}^{-2} + \bar{v}^{-2}}$.

Dengan menggunakan asumsi tersebut ke dalam profil distribusi logaritma dari kecepatan horisontal ke seluruh kedalaman aliran, maka C_d dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

a. Jika kondisi dasar saluran secara hidrolik halus, maka

$$C_d = \frac{3}{Re} \quad \text{dengan } Re \leq 430 \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$\frac{1}{\sqrt{C_d}} = A_s - \frac{1}{\kappa} \left[1 - \ln \left(Re \sqrt{C_d} \right) \right] \quad \text{dengan } Re > 430 \quad \dots\dots\dots(10)$$

b. Jika kondisi dasar saluran secara hidrolik kasar, maka

$$\frac{1}{\sqrt{C_d}} = A_s - \frac{1}{\kappa} \left[1 - \ln \left(\frac{h}{k_s} \right) \right] \quad \dots\dots\dots(11)$$

Dimana κ = konstanta Von Karman, $A_s = 5.5$ untuk kondisi dasar saluran yang halus

and 8.5 untuk dasar yang kasar, $Re = h \frac{\sqrt{\bar{u}^{-2} + \bar{v}^{-2}}}{\nu_k}$ adalah bilangan Reynolds, h adalah

kedalaman air dan ν_k adalah viskositas kinematik molekular. Sedangkan, C_d diestimasi dengan menggunakan bilangan Manning dalam model ini menjadi:

$$C_d = \frac{gn^2}{h^{1/3}} \dots\dots\dots(12)$$

Bilangan Manning dapat dihitung dari ukuran butir dan gravitasi dengan hubungan sebagai berikut :

$$n = \frac{d^{1/6}}{8.9\sqrt{g}} \dots\dots\dots(13)$$

dimana d adalah diameter butir dan g adalah percepatan gravitasi.

Persamaan kontinuitas pengangkutan dengan *bed load* dalam sistem koordinat general 2 dimensi dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z_b}{J} \right) + \frac{1}{1-\lambda} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{q^\xi}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{q^\eta}{J} \right) \right] = 0 \dots(4)$$

dimana z_b adalah elevasi dasar saluran; λ adalah porositas material di dasar saluran; q^ξ and q^η masing-masing adalah komponen kontra variant kecepatan pengangkutan bed load per unit width pada arah ξ dan η . Tapi, persamaan pengangkutan sedimen dinyatakan pada arah gerakan sedimen pada arah sumbu sungai, s tegak lurus dengan arah sumbu sungai n.

Kecepatan pengangkutan bed load dihitung dengan formula Ashida and Michiue's (1972), sebagai berikut:

$$q^b = 17\tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \right) \sqrt{s_g g d^3} \dots\dots\dots(5)$$

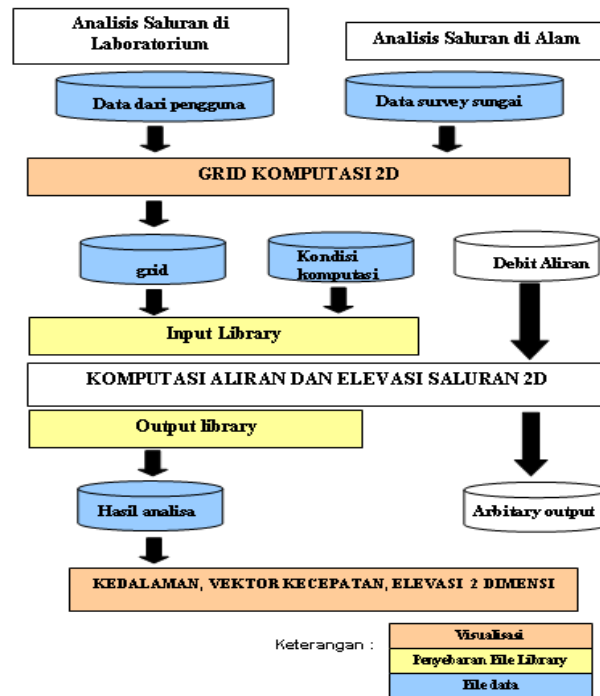
dimana τ_* adalah shear stress tidak berdimensi; τ_{*c} adalah shear stress kritis tidak berdimensi yang diturunkan dari formula Iwasaki; d adalah diameter ukuran butir.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan model simulasi komputasi 2D. Tahap komputasi dilakukan dengan teknik numeris yang diterapkan sebagai pendekatan utama di seluruh pemodelan kecepatan aliran dan elevasi permukaan air akibat

kelengkungan saluran. Keakuratan teknik numerik akan dibandingkan dengan data survey di lapangan. Model aliran yang digunakan mengikuti kerangka metodologi sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.

Model matematis diformulasikan dalam bidang horisontal dengan menggunakan sistem koordinat kurvilinear dan non orthogonal. Sumbu ξ adalah sumbu di sepanjang the saluran pada bentuk saluran awal yang diketahui dengan bentuk bidang dan sumbu η adalah digambar memotong sumbu ξ axis. Jadi, bidang (ξ, η) dibagi menjadi bagian-bagian untuk membentuk grid awal untuk komputasi simulasi. Perbandingan kedalaman dan lebar saluran didesain sama dengan 1, sehingga kedalaman saluran adalah 0,3 meter.



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi

Dalam model genangan, grid sungai yang dikomputasi akan diubah menjadi data kedalaman. Data tersebut akan dibaca sebagai data genangan banjir. Komputasi model 2 D genangan banjir yang digunakan mengikuti urutan sebagai berikut :

1. Komputasi aliran, Kecepatan dan Kedalaman aliran
2. Komputasi Laju Angkutan Sedimen

3. Komputasi perubahan elevasi dasar sungai
4. Menentukan sistem koordinat baru
5. Menentukan genangan banjir dan mengupdate waktu

PEMAPARAN HASIL DAN PEMBAHASAN

Komputasi Model matematis dalam bidang horisontal menggunakan 2 Dimensi dalam sistem koordinat kurvilinear dan non orthogonal. Sumbu ξ adalah sumbu di sepanjang the saluran pada bentuk saluran awal yang diketahui dengan bentuk bidang dan sumbu η adalah digambar memotong sumbu ξ axis. Bidang (ξ, η) dibagi menjadi bagian-bagian untuk membentuk grid awal untuk komputasi simulasi. Kondisi batas akan ditentukan menggunakan kondisi batas yang non periodik karena kondisi non periodik akan merubah kondisi wavelength yang akan terjadi di sungai di alam.

Batas non periodik ini menggunakan beberapa perturbation yang ditambahkan ke dalam aliran di bagian inlet saluran, sehingga kondisi di bagian outlet saluran tidak mempengaruhi kondisi di inlet saluran pada komputasi selanjutnya. Batas kondisi non periodik akan mempengaruhi lama komputasi karena memerlukan domain komputasi yang lama. Selain itu batas kondisi juga ditentukan pada awal komputasi menggunakan debit aliran yang ditentukan, kecepatan aliran dalam arah memanjang dan melintang saluran pada ujung inlet sama dengan 0, kedalaman aliran di bagian inlet ditentukan.

Model 2D yang digunakan memerlukan input diantaranya adalah grid yang menggambarkan lokasi banjir di sungai Dinoyo. Dalam grid tersebut terdapat data koordinat sungai yang terdiri grid bagian kiri dan kanan sungai. Grid sungai meliputi bagian dataran banjir sungai sehingga hasil simulasi akan berada pada dalam grid.

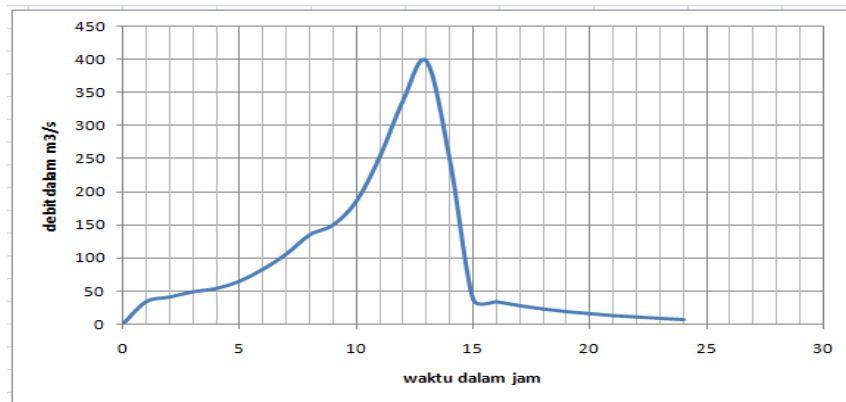
Bagian Sungai Dinoyo yang disimulasikan ini adalah domain yang terjadi perubahan morfologi akibat banjir bandang. Domain simulasi memiliki grid 800 sel dan diperlihatkan pada bagian yang berwarna biru (lihat gambar 2). Data penampang sungai elevasi diambil dari data DEM dari photo citra satelit dan dikoreksi dengan data sekunder. Citra satelit yang digunakan adalah citra satelit resolusi tinggi tahun 2002 yaitu sebelum terjadinya banjir bandang. Sedangkan, untuk pengkoreksian simulasi akan menggunakan citra satelit dan data lapangan.



Gambar 2. Domain Komputasi pada Wilayah Studi

Pengamatan evolusi sungai dinoyo dipergunakan data citra resolusi tinggi yang akan diperlihatkan dalam hasil simulasi. Perubahan aliran sungai dan arah aliran merupakan fokus dari simulasi banjir. Dasar sungai diambil sesuai dengan data DEM (Digital Elevation Model). Data yang disimulasikan pada bagian alur sungai akan nampak pada simulasi kecepatan banjir pada alur sungai.

Disamping itu, untuk mengamati kedalaman air dipergunakan data yang diperoleh di lapangan pada saat banjir. Kondisi hidraulik model menggunakan dinamika debit yang dihitung dengan rancangan debit 120 tahunan. Hasil perhitungan dapat dilihat dalam gambar 3.

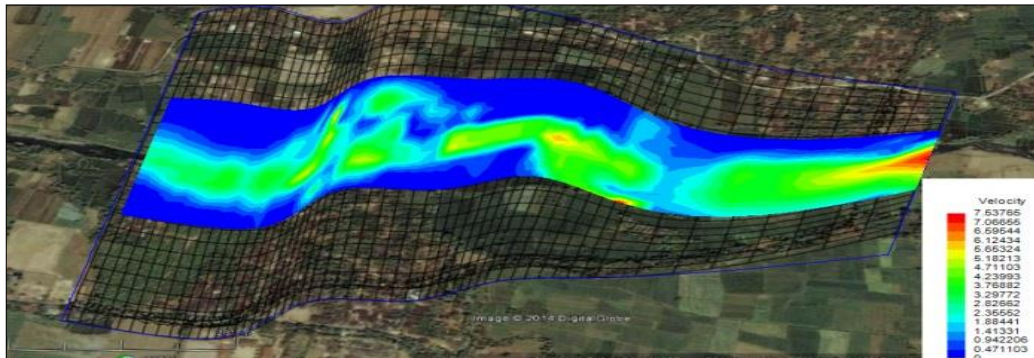


Gambar 3. Debit Banjir 2006

Sedimentasi dalam model 2D menggunakan rumus Ashida and Michue dan ditambahkan pengaruh aliran sekunder yang diestimasi Rumus Engelund. Rumus pengangkutan sediment digunakan sediment bed load karena sediment ini mendominasi dalam karakteristik sedimen di lokasi pengamatan. Hal ini dikarenakan nampak adanya

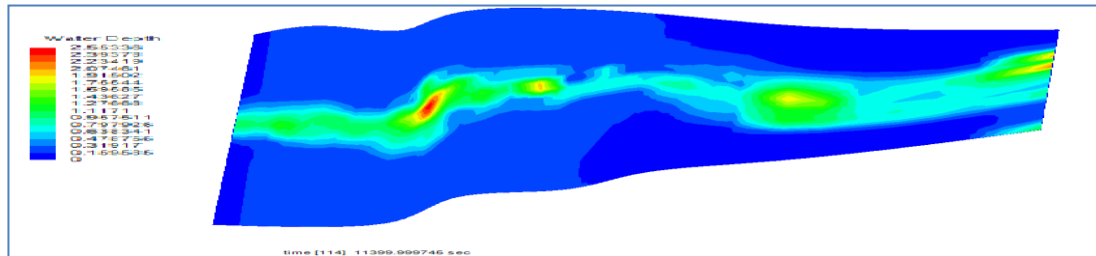
point bar yang dapat diidentifikasi dari kenampakan citra satelit. Perubahan elevasi karena erosi dihitung dari persamaan kontinuitas dimana kuantitas kesetimbangan deposisi dan kuantitas erosi.

Simulasi banjir menggunakan debit yang tidak tunak dan diturunkan dari debit rancangan banjir tahunan. Model ini dimaksudkan untuk meramalkan kondisi banjir bandang tahunan. Grafik rancangan debit dapat dilihat pada gambar 3 Berdasarkan Grafik pada gambar 4, perhitungan rezim dapat diwakili oleh hubungan tegangan geser berdimensi dan geometri saluran yang terdiri dari dengan hubungan Lebar (B), Slope (I) dari saluran dan kedalaman air (h).. Hal ini diharapkan bahwa hasilnya bisa mewakili sedimen yang terjadi di sungai seperti yang ditunjukkan rezim bar alternatif pada gambar 4. Kedalaman air dihitung dengan Koefisien Manning dengan nilai 1,15 dan tegangan geser berdimensi dengan nilai 27,7.



Gambar 4. Simulasi Kecepatan Banjir

Komputasi banjir bandang dengan menggunakan kondisi hidraulik dan metode simulasi 2 Dimensi menunjukkan adanya perubahan aliran sungai yang memotong jalur yang panjang menjadi jalur yang lebih pendek. Perubahan jalur ini ditunjukkan pada hasil simulasi (Gambar 4) vektor kecepatan pada detik 11399 dengan kecepatan maksimum 7,53 meter per detik.



Gambar 5. Model Kedalaman Sungai

Walupun terjadi perpindahan aliran, sungai dinoyo masih dalam bentuk meander. Perubahan alur sungai dapat diamati dengan menggunakan citra resolusi tinggi sebelum terjadinya banjir dan setelah terjadinya banjir di lokasi studi. Hasil Genangan banjir maksimum pada saat banjir adalah 2,5 meter seperti pada gambar 5.

KESIMPULAN

Dari hasil komputasi numerik 2 dimensi yang dikembangkan dari model erosi bantaran banjir, dapat disimpulkan bahwa :

1. Model Numerik Dimensi dapat memodelkan genangan banjir yang terjadi di daerah hilir sungai yang ditunjukkan dengan kesesuaian morfologi sungai yang terjadi pada citra satelit.
2. Model Numerik 2 Dimensi dapat memodelkan kedalaman sesuai pada saat terjadinya banjir bandang dengan kedalaman maksimum 2,5 meter.
3. Model 2D dapat digunakan untuk memodelkan kecepatan pada saat banjir dengan kecepatan maksimal 7,53 m/s.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stephen H. Scott and Yafei Jia. Simulation of Sediment Transport and Channel Morphology Change in Large River System. *US-China Workshop on Advanced Computational Modelling in Hydroscience and Engineering*, September 19-21, Oxford, Mississippi, USA.
- [2] Jennifer G. Duan and Pierre Y. Yulien. Numerical Simulation of the Inception of Channel meandering. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, 1093-1110, Wiley Interscience, 2005.

- [3] Surajate B.A. *Computation of Turbulence and Bed Morphology in Meandering River*. PhD thesis, Hokkaido University, September 2005.
- [4] Chang-Lae Jang. *Study on the Morphological Behavior of the Channel with Erodible Banks*. PhD Thesis, Hokkaido University, September 2003.
- [5] Jennifer G. Duan. Simulation of Flow and Mass Dispersion in Meandering Channels. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, October 2004.
- [6] H.R.A. Jagers. *Modelling Planform Changes of Braided Rivers*. PhD thesis, University of Twente, January 2000.
- [7] M.S. Yalin and A.M. Ferreira da Silva. *Fluvial Processes*. IAHR International Association of Hydraulic engineering and Research Monograph, Delft, The Netherlands, 2001.
- [8] Chang-Lae Jang and Y. Shimizu. Numerical Simulation of Relatively Wide, Shallow Channels with Erodible Banks. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, July 2005.
- [9] Chunming Fang, Jixin Mao and Wen Lu, 2D Depth-Averaged Sediment Transport Model taken into Account of Bend Flows. *US-China Workshop on Advanced Computational Modelling in Hydroscience and Engineering*, September 19-21, Oxford, Mississippi, USA.
- [10] Erik Mosselman. Morphological Modelling of Rivers with Erodible Banks. *Journal of Hydrological Processes*, 12, 1357-1370, 1998.
- [11] Stephen E Darby, Andrei M. Alabyan and Marco J. Van de Wiel. Numerical Simulation of Bank Erosion and Channel Migration in Meandering Rivers. *Water Resources Research*, Vol. 38, No. 9, 1163, 2002.
- [12] T. Yabe and T. Ishikawa. A multidimensional cubic-interpolated pseudoparticle (CIP) method without time splitting technique for hyperbolic equations. *J. The Physical Society of Japan*, 59(7), 2301-2304, 1990.
- [13] S.-U. Choi, T.B. Kim and K.D. Min. 2D Finite Element Modelling of Bed Elevation Change in a Curved Channel. *River, Coastal and Estuarine Morphodynamics (RCEM)*, Vol.2, 737-743, The Netherlands.