

# Modelisasi Kecepatan Arus Bawah Laut dan Elevasi Permukaan Air Laut Di Selat Bangka Kabupaten Minahasa Utara-Sulawesi Utara

P.T.D. Rompas

Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Manado  
Kampus FATEK UNIMA di Tondano 95618, Minahasa, Sulawesi Utara, Indonesia  
E-mail: parabelem\_rompas@yahoo.com

## Abstrak

*Modelisasi kecepatan arus bawah laut dan elevasi permukaan air laut di selat Bangka Minahasa Utara Sulawesi Utara telah diinvestigasi. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi kecepatan arus bawah laut dan elevasi permukaan air laut sebagai sumber data dalam perencanaan turbin air laut untuk pembangkit listrik tenaga arus bawah laut di Selat Bangka Kabupaten Minahasa Utara Propinsi Sulawesi Utara. Metode yang digunakan adalah metode numerik untuk model persamaan Navier Stokes melalui pendekatan diferensial terhingga dan semi implisit 3-D yang mana distribusi tekanan pada lapisan vertikal air laut diasumsi hidrostatis. Ditemukan kecepatan arus bawah laut dan elevasi permukaan air laut di selat Bangka berpotensi sebagai sumber data untuk pembangunan instalasi turbin pembangkit listrik arus bawah laut yang mana maksimum kecepatan arus bawah laut dan elevasi permukaan air laut yang tersedia masing-masing sebesar 3,16 m/det dan 43 cm pada debit ideal 0,3 Sv.*

**Kata kunci:** modelisasi, kecepatan arus bawah laut, elevasi air laut, instalasi turbin

## 1. PENDAHULUAN

Pengembangan Sulawesi Utara-Indonesia lebih khusus di bidang Industri (KAPET-Manado-Minahasa-Bitung) yang menghadapi suatu masalah dimana energi listrik yang tersedia masih terbatas. Energi listrik alternative yang berasal dari sumbernya seperti (PT. PLN (Persero) Wilayah SULUT-TENGGU, 2003) tenaga angin (kira-kira 8 km/jam kecepatannya menurut kondisi topografi dan geografinya), tenaga matahari (berkaitan dengan kondisi iklim dan juga sangat mahal), tenaga geothermal (berpotensi sampai 20 MW dan pengembangannya terbatas) and tenaga air (daya tampung air menurun dari tahun ke tahun dan potensialnya hanya sampai 25 MW). Dalam kenyataannya bahwa itu masih sulit dikembangkan di Sulawesi Utara dalam 3 tahun untuk menyediakan minimum 100 MW (PT. PLN (Persero) Wilayah SULUT-TENGGU, 2003).

Untuk mengantisipasi masalah-masalah itu, maka potensial tenaga arus bawah laut di selat Bangka-Minahasa Sulawesi Utara diperkirakan dapat mencapai kira-kira 300 MW yang mana akan menjadi suatu solusi dari berbagai permasalahan itu. Pada penelitian ini, akan dicari suatu model

rancangan turbin yang efisien dan efektif sebagai penggerak mula dari generator listrik dalam sistem pembangkit listrik tenaga arus bawah laut. Data informasi terkini menunjukkan bahwa di selat Bangka tersedia kecepatan arus sekitar dari 1,4-3,3 m/s, lebar selat antara pulau Bangka dan desa Likupang kira-kira 4 Km, dan kedalaman laut selat Bangka kira-kira sampai 60 m.

### 1.1 Tinjauan Pustaka

Untuk mengetahui gejala-gejala dari aliran air dari bawah sampai permukaan laut seperti kecepatan longitudinal ( $u$ ), transversal ( $v$ ), vertikal ( $w$ ), dan permukaan bebas ( $z_1$ ) maka digunakan metode numerik persamaan air dangkal dua dan tiga dimensi (Rodriguez, 2005), (Stelling, 1984), (Backhaus, 1983), (Cheng & Smith, 1990), (Casulli, 1990), (Casulli & Cheng, 1992). Beberapa metode numerik untuk persamaan air dangkal dua dan tiga dimensi dengan bergantung pada waktu telah diketahui dalam literatur dan sekarang digunakan dalam aplikasi-aplikasi praktis (Zarrati & Jin, 2004), (Cea dkk, 2006), (Stansby, 1997), (Stansby, 2003), (Cheng & Casulli, 1992), (Casulli & Walters, 2000). Pada tahun ini, simulator aliran air dangkal dua dimensi adalah kompetitif secara ekonomi dengan metode

ADI yang telah dikembangkan dan diterapkan. Metode ini termasuk semi-implisit yang lebih baik dari metode pemecahan implisit (Stelling, 1984). Di dalam metode semi-implisit hanya penurunan tekanan barotropik dalam persamaan momentum dan divergen kecepatan dalam persamaan kontinuitas diambil secara implisit. Secara komputasional, pada tiap step waktu sistem lima diagonal linier diselesaikan dalam elevasi permukaan air yang baru untuk daerah masuk yang tidak diketahui. Koefisien matrix untuk tiap sistem adalah simetri dan pasti positif dan penyelesaiannya bisa ditentukan secara unik dan efisien dengan menggunakan suatu metode penurunan konjugasi (Cheng & Casulli, 1992). Metode pemisahan waktu implisit menggunakan dua atau lebih step waktu kecil yang secara esensial tidak dipasang operator propagasi dari konveksi dan difusi. Tiap operator ini kemudian didiskrit secara implisit (Casulli, 1990).

Dalam analisis numerik untuk air dangkal dikembangkan sebagai fase satu dari pengembangan suatu model tiga dimensi (TRIM-D) secara umum. Tujuan analisis ini adalah untuk membuat dasar matematika yang kuat untuk skema numerik dan algoritme komputasional dalam penyelesaian numerik dari masalah-masalah aliran geofisik dua atau tiga dimensi (termasuk masalah aliran air laut yang dangkal di selat bangka kecamatan likupang kabupaten Minahasa Utara-SULUT).

Persamaan-persamaan Navier-Stokes adalah persamaan-persamaan umum yang bisa digunakan untuk memodelisasi gerakan dari air. Setiap kali kita mempertimbangkan suatu masalah khusus seperti aliran dalam air dangkal dimana skala horisontal lebih besar dari skala vertikal, itu memerlukan pertimbangan hipotesa pasti. Persamaan-persamaan Navier-Stokes yang dikonsiderasikan adalah (Hervouet, 2007),(Casulli & Cheng, 1992):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( v \frac{\partial u}{\partial x} \right) + f.v \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( v \frac{\partial v}{\partial x} \right) + f.u \quad (2)$$

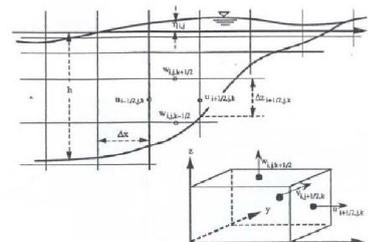
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

dimana  $u, v,$  dan  $w$  adalah masing-masing komponen kecepatan dalam arah  $x, y,$  dan  $z$ ;  $\rho$  adalah densitas dan  $\rho_0$  densitas referensi,  $p$  adalah tekanan,  $\nu$  viskositas kinematik,  $g$  adalah kecepatan gravitasi konstan dan  $f_x, f_y,$  dan  $f_z$  adalah masing-masing gaya coriolis per satuan massa. Persamaan-persamaan ini valid jika

lengkapi dengan hipotesa dari Boussinesq, itu berlaku jika perubahan densitasnya kecil, densitas itu harus mempertimbangkan konstanta dalam semua titik yang menerima gaya gravitasi.

Dalam Aturan tiga dimensi itu, persamaan-persamaan variabel primitif menggambarkan densitas konstan, aliran permukaan bebas di dalam embayments dan lautan-lautan yang berhubungan dengan pantai bisa diturunkan dari persamaan-persamaan Navier-Stokes setelah merata-ratakan turbulen dan dibawah asumsi penyederhanaan bahwa tekanan adalah hidrostatik (Hervouet, 2007),(Broomans, 2003),(Casulli & Cheng, 1992).

Suatu analisis karakteristik dari dua dimensi, secara vertikal diintegrasikan persamaan air dangkal yang menunjukkan bahwa faktor  $(gH)$  dalam persamaan itu mempunyai tujuan untuk memunculkan karakteristik berbentuk kerucut dari penurunan tekanan barotropik di dalam persamaan momentum dan dari turunan kecepatan di dalam persamaan permukaan bebas (Cheng & Casulli, 1992). Suatu analisis stabilitas yang setepat-tepatnya juga ditetapkan dengan menggunakan metode von Neumann pada skema hubungan linieritas. Hasil dari analisis ini mempunyai peranan penting pada metode semi-implisit praktis dari penyelesaian untuk persamaan air dangkal tiga dimensi yang mempunyai jaminan dalam beberapa aplikasi. Langkah-langkah yang akan dilakukan adalah pertama-tama persamaan (1),(2),(3) akan diturunkan dalam bentuk penurunan elevasi permukaan di dalam persamaan momentum dan persamaan (1),(2),(3) akan didiskritisasi secara implisit. Konveksi, Coriolis, dan faktor kecepatan horisontal di dalam persamaan momentum akan didiskritisasi secara eksplisit untuk menghilangkan kondisi stabilitas yang disebabkan oleh viskositas pusar vertikal, faktor pencampuran vertikal akan didiskritisasi secara implisit (Casulli & Cheng, 1992).



**Gambar 1. Skema diagram mesh dan notasi komputasional**

Gambar 1. menunjukkan suatu ruang berlubang yang terdiri dari sel-sel persegi empat dari panjang  $x,$  lebar  $y$  dan tinggi  $z$  sebagai langkah awal. Kemudian tiap sel diberi nomor

pada tengahnya dengan tanda  $i, j$  dan  $k$ . Diskrit kecepatan  $u$  kemudian di definisikan pada setengah integer  $i, j$  dan  $k$ ;  $v$  di definisikan pada integer  $i, k$ , dan setengah integer  $j$ ;  $w$  di definisikan pada integer  $i, j$ , dan setengah integer  $k$ . Terakhir,  $h$  di definisikan pada integer  $i$  dan  $j$ . Kedalaman air  $h(x,y)$  dispesifikasikan pada titik-titik  $u$  dan  $v$  horisontal. Kemudian pengdiskritisasian semi-implisit secara umum dari persamaan momentum dari persamaan (1),(2),(3) berbentuk sebagai berikut (Treguier dkk, 2001),(Broomans, 2003),(Casulli & Cheng, 1992):

$$\mathbf{A}_{i+1/2,j}^n \mathbf{U}_{i+1/2,j}^{n+1} = \mathbf{G}_{i+1/2,j}^n - g \frac{\Delta t}{\Delta x} (\eta_{i+1,j}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}) \mathbf{Z}_{i+1/2,j}^n \quad (4)$$

$$\mathbf{A}_{i,j+1/2}^n \mathbf{V}_{i,j+1/2}^{n+1} = \mathbf{G}_{i,j+1/2}^n - g \frac{\Delta t}{\Delta y} (\eta_{i,j+1}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}) \mathbf{Z}_{i,j+1/2}^n$$

(5)  
dimana  $\mathbf{U}, \mathbf{V}, \mathbf{Z}, \mathbf{G}$  and  $\mathbf{A}$  didefinisikan sebagai:

$$\mathbf{U}_{i+1/2,j}^{n+1} = \begin{bmatrix} \bar{u}_{i+1/2,j,M}^{n+1} \\ \bar{u}_{i+1/2,j,M-1}^{n+1} \\ \bar{u}_{i+1/2,j,M-2}^{n+1} \\ \vdots \\ \bar{u}_{i+1/2,j,m}^{n+1} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{V}_{i,j+1/2}^{n+1} = \begin{bmatrix} \bar{v}_{i,j+1/2,M}^{n+1} \\ \bar{v}_{i,j+1/2,M-1}^{n+1} \\ \bar{v}_{i,j+1/2,M-2}^{n+1} \\ \vdots \\ \bar{v}_{i,j+1/2,m}^{n+1} \end{bmatrix},$$

$$\Delta \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \Delta z_M \\ \Delta z_{M-1} \\ \Delta z_{M-2} \\ \vdots \\ \Delta z_m \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{G}_{i+1/2,j}^n = \begin{bmatrix} \Delta z_M (\bar{F}\bar{u})_{i+1/2,j,M}^n + \Delta t \tau_x^v \\ \Delta z_{M-1} (\bar{F}\bar{u})_{i+1/2,j,M-1}^n \\ \Delta z_{M-2} (\bar{F}\bar{u})_{i+1/2,j,M-2}^n \\ \vdots \\ \Delta z_m (\bar{F}\bar{u})_{i+1/2,j,m}^n \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{G}_{i,j+1/2}^n = \begin{bmatrix} \Delta z_M (\bar{F}\bar{v})_{i,j+1/2,M}^n + \Delta t \tau_y^w \\ \Delta z_{M-1} (\bar{F}\bar{v})_{i,j+1/2,M-1}^n \\ \Delta z_{M-2} (\bar{F}\bar{v})_{i,j+1/2,M-2}^n \\ \vdots \\ \Delta z_m (\bar{F}\bar{v})_{i,j+1/2,m}^n \end{bmatrix}$$

Persamaan 4 dan 5 adalah sistem tridiagonal linier

yang dikopel ke elevasi permukaan air laut  $\eta^{n+1}$  pada waktu  $t_{n+1}$ .

Untuk menghitung permukaan bebas  $\eta_{i,j}^{n+1}$  bisa ditulis dalam notasi matriks sebagai Zarrati & Jin (2004):

Tenaga yang tersedia per satuan luas tegak lurus (BC. Hydro, 2002):

$$P_A = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3 10^{-3} \quad (7)$$

dimana  $P_A$  dalam  $\text{kW/m}^2$ ,  $v$  adalah resultan kecepatan arus bawah laut (m/s) dan densitas air laut ( $\text{kg/m}^3$ ).

### 1.2 Tujuan Penelitian

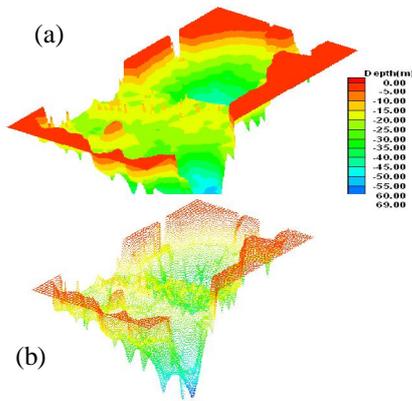
Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah untuk memprediksi kecepatan arus bawah laut dan elevasi permukaan air laut yang ada di Selat Bangka, Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara, Indonesia melalui hasil modelisasi dan simulasi komputasional-3D.

## 2. METODE

Metode yang digunakan adalah menggunakan metode komputasi (analisis numerik). Model komputasi yang digunakan dalam memprediksi kecepatan arus bawah laut dan elevasi permukaan air laut adalah komputasi hasil modifikasi program “YAXUM” model yang digunakan oleh Rodriguez dkk (2005) dengan perangkat lunak FORTRAN 90, TECPLOT 8 dan ARGUS ONE.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Selat Bangka terletak antara lautan pasifik dan laut Sulawesi dan luasnya kira-kira  $200 \text{ km}^2$  (lihat Gambar 3), dengan lebar minimum antara tanjung Sahaong (di pulau Bangka) dan tanjung Mokotamba (di desa Likupang) yang panjangnya kira-kira 5,5 km dan kedalaman maksimum 69 meter (kedalaman rata-rata 40 m). Sirkulasi arus tiga dimensi di selat Bangka disimulasi dengan menggunakan model  $174 \times 318 \text{ mesh}$  beda hingga sama dengan  $x = y = 60 \text{ m}$ . Penyelesaian numerik menggunakan lapisan-lapisan arah vertikal dan waktu integrasi  $t = 1$  detik, dan tiga volume alir masuk pada seksi A and B (lihat Gambar 3) adalah 0,025 Sv, 0,1 Sv, 0,3 Sv and 0,5 Sv (1 Sv = 1 Sverdrup =  $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ).



Gambar 2. 3-D dari selat Bangka dengan kedalaman: (a) Bathymetry; dan (b) Meshes

Distribusi kecepatan ditunjukkan dalam Gambar 4. Ada dua volume alir masuk (konstan 0,3 Sv), pertama antara pulau Gangga dan desa Likupang (seksi A) dan kedua antara pulau Talisei dan pulau Gangga (seksi B). Kecepatan air laut keluar maksimum pada C and D adalah masing-masing 2,7 m/s and 3,16 m/s.

Distribusi elevasi air laut ditunjukkan pada Gambar 5. Maximum elevasi pada seksi A adalah masing-masing 2,7 m/s and 3,16 m/s.

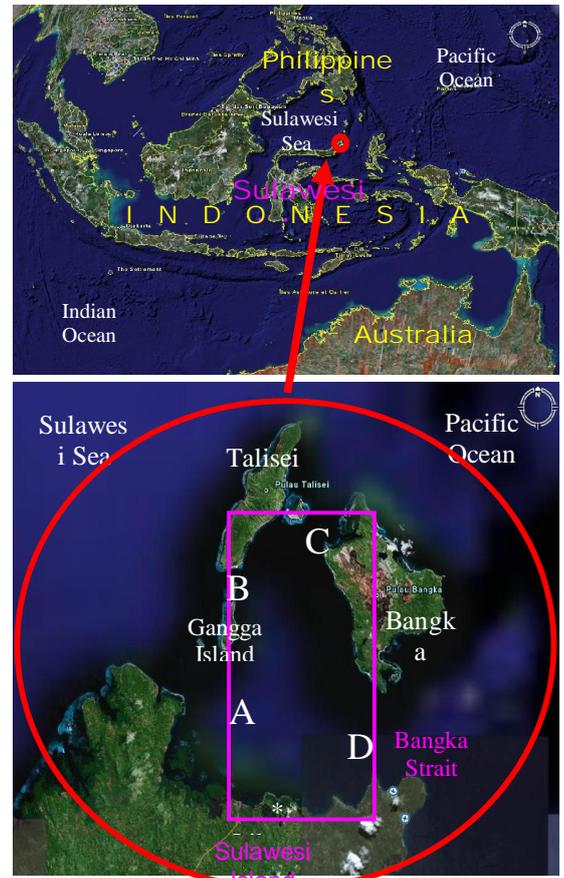
Distribusi elevasi air laut ditunjukkan pada Gambar 5. Maximum elevasi pada seksi A adalah kira-kira 0,24 m dan pada seksi C sebesar 0,43 m

#### 4. KESIMPULAN

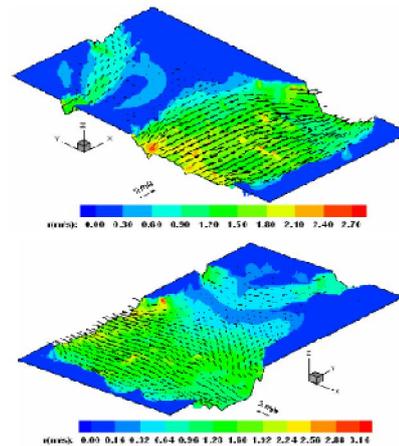
Modelisasi kecepatan arus bawah laut dan elevasi permukaan air laut di selat Bangka, Minahasa Utara, Sulawesi Utara, Indonesia telah diselidiki dan dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan model numerik maka maksimum kecepatan arus bawah laut dan elevasi permukaan air laut yang tersedia masing-masing sebesar 3,16 m/det dan 43 cm pada debit ideal 0,3 Sv. Berdasarkan hasil tersebut maka diwaktu yang akan datang dimungkinkan untuk dibangun sebuah industri pembangkit listrik tenaga arus bawah laut berkapasitas 1500 MW di selat Bangka, Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara, Indonesia.

#### 5. SUMBER PENDANAAN

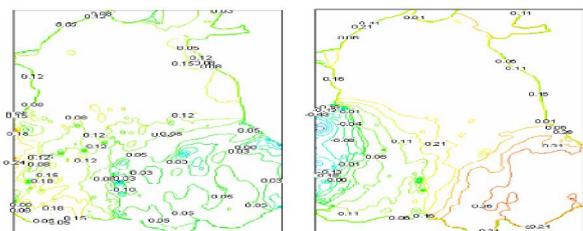
Sumber dana penelitian ini adalah dari pemerintah propinsi Sulawesi Utara. Camat Likupang dan Kepala Desa dan masyarakat Likupang Timur adalah kontributor di sekitar lokasi penelitian. Mahasiswa-mahasiswa jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fatek Unima adalah kontributor dalam pengambilan dan analisis data penelitian. Kesemuanya itu peneliti mengucapkan terimakasih banyak atas partisipasinya.



Gambar 3. Letak Selat Bangka di Sulawesi



Gambar 4. Distribusi kecepatan arus bawah laut (m/det) pada debit 0,3 Sv



Gambar 5. Distribusi elevasi permukaan air laut (m) pada debit 0,3 Sv

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. A.M. Treguier, , B. Barnier, , A.P. De Miranda, 2001, An eddy-permitting model of the Atlantic circulation: Evaluating open boundary condition, *J. Geophys. Res. Oceans*, 106 (C10): 22115-22129, pp. 1-23.
2. A.R. Zarrati, & Y.C. Jin, 2004, Development of a generalized multi-layer model for 3-D simulation of free surface flows. *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, Vol.46, p1049-1067.
3. BC. Hydro, 2002, Green Energy Study for British Columbia-Phase 2- Mainland Tidal Current Energy, Triton Consultants Ltd., <http://www.llbc.leg.bc.ca/public/PubDocs/bcdocs/357590/environment3928.pdf>, diakses 15 Mei 2007.
4. C. Rodriguez, , E. Serre, , C. Rey, & H. Ramirez, 2005, A numerical model for shallow-water flows: dynamics of the eddy shedding. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, Vol.1, p280-287.
5. G.S. Stelling, 1984, On the Construction of Computational Methods for Shallow Water Flow Problems, *Rijkswaterstaat Communications*, No. 35, The Hague.
6. J.M. Hervouet, 2007, *Hydrodynamics of free surface flows: Modelling with the finite element method*. John Wiley & Sons, Ltd., Englang: cop, ISBN 978-0-470-03558-0 (HB), xiv-341p.
7. J.O. Backhaus, 1983, A Semi-Implicit Scheme for the Shallow Water Equations for Application to Shelf Sea Modeling, *Continental Shelf Res.*, **2**, 243-254.
8. L. Cea, , J.R. French, & M.E. Vazquez-Cendon, 2006, Numerical modelling of tidal flows in complex estuaries including turbulence: An unstructured finite volume solver and experimental validation. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol.67, 1909-1932.
9. L. Cea, , J.R. French, & M.E. Vazquez-Cendon, 2006, Numerical modelling of tidal flows in complex estuaries including turbulence: An unstructured finite volume solver and experimental validation. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol.67, 1909-1932.
10. P. Broomans, 2003, Numerical accuracy in solution of the shallow-water equations: *Master thesis*, TU Delft & WL, Delft Hydraulics.
11. PT. PLN (Persero) Wilayah SULUT-TENGGGO, 2003, *Laporan Bulanan*, Manado.
12. P.K. Stansby, 1997, Semi-implicit finite volume shallow-water flow and solute transport solver with k- turbulence model. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol.25, p285-313.
13. P.K. Stansby, 2003, A mixing-length model for shallow turbulent wakes. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol.495, p369-384.
14. R.T. Cheng, and V. Casulli, 1992, Tidal, Residual, Inter-Tidal Mud-Flat (TRIM) Model, Using Semi-Implicit Eulerian-Lagrangian Method, *USGS Open-File Rep.* 92-62.
15. R.T. Cheng, dan P.E. Smith, 1990, A Survey of Three-Dimensional Numeric Estuarine Models, dalam M.L. Spaulding (ed.), *Estuarine Coastal Modeling*, ASCE, New York, pp. 1-15.
16. V. Casulli, 1990, Semi-Implicit Finite Difference Methods for the Two-Dimensional Shallow Water Equations, *J. Comput. Phys.*, **86**, 56-74.
17. V. Casulli, & R.T. Cheng, 1992, Semi-implicit finite difference methods for three-dimensional shallow water flow. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol.15, p629-648.
18. V. Casulli, & R.A. Walters, 2000, An unstructured grid, three-dimensional model based on the shallow water equations. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol.32, p331-348.