

POLA ARUS DI KOLAM PASANG SURUT AKIBAT PENGARUH ANGIN

Achmad Rusdiansyah¹

Abstract - *The Characteristics of water quality in shallow water of the pool of the rise and fall of the tides depend on the movement of stream flow. Thus, on the first stage is the analysis of stream pattern and velocity. The stream in pool of the rise and fall of the tides is influenced by the tides movement, besides, it can happened because of the side effect of winds blow. The influence of the winds blow with a velocity will give forces on the water surface such as shearing force, and for the result, it push the water mass so the stream movement happen, witch is stated in the continuity and momentum equations.*

The stream pattern flow and velocity result can be examined by making a two dimensional (2-D) hydrodynamic of numerical model. The model is based on the numerical solution of continuity and momentum equations, which are solved with finite different method, the explicit of Mac Cormack method.

The validity of model is tested with model experiment, 1-D stream flow and 2-D stream flow simulations with rectangle stream pattern. The experiment is done in the pool of the rice and fall of the tides. The results of the study had given satisfactory result.

Keywords - hydrodynamic, numerical model, shearing force, stream pattern

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Zona pesisir kepulauan di Indonesia sebagian besar merupakan daerah hamparan lahan luas yang masih belum produktif. Telah banyak usaha-usaha yang dilakukan dalam rangka pe-manfaatannya, seperti usaha bidang perkebunan, perikanan, dan pertanian. Pertanian di daerah pesisir pantai dengan topografi rendah merupakan lahan yang dipengaruhi oleh air pasang surut.

Dalam usaha pengembangan lahan pertanian di Kalimantan Selatan, pemanfaatan lahan pasang surut untuk pertanian tersebut dilakukan dengan usaha pengendalian air pasang, salah satunya dikenal dengan sistem garpu dengan kolam pasang surutnya. Sistem ini mempunyai multifungsi yang salah satunya yaitu kelebihan air saat pasang dapat ditampung di kolam pasang dan pada saat

surut dialirkan kembali ke muara dengan tujuan sirkulasi air, yaitu arus pasang membawa massa air segar dan pada saat surut mendorong massa air yang tercemar ke muara. Pencemaran air ini terjadi karena terdapatnya unsur hara (sulfat) yang dapat beroksidasi, menjadikan keasaman air bertambah besar dan dapat mengganggu pertumbuhan tanaman padi. Namun demikian didalam massa air juga terdapat unsur O₂, Fe, NH₂, NH₃, bakteri, plankton, sedimen yang selalu bergerak terbawa arus mengikuti gerakan pasang surut di saluran primer ataupun di kolam pasang.

Kolam pasang yang merupakan lahan perairan dangkal dan relatif luas dengan sifat aliran *unsteady non uniform*, dengan kecepatan dan arah berubah terhadap waktu

¹) Staf pengajar Teknik Sipil Fakultas Teknik Unlam Banjarmasin

dan ruang, dimana proses aerasi tergantung besar kecepatan arus. Oleh karenanya kandungan konsentrasi zat yang merupakan parameter kualitas air di setiap titik pada medan aliran tidak merata, sehingga karakteristik kualitas air selalu berubah dan tergantung fluktuasi kecepatan arus yang terjadi di kolam pasang pada saat air pasang ataupun surut. Secara teoritis hasil pengukuran kecepatan arus di lapangan akan akurat apabila diukur pada setiap selang jarak tertentu dan dalam interval waktu tertentu selama periode pasang surut.

Namun cara ini membutuhkan waktu dan biaya yang relatif besar. Salah satu alternatif yang ekonomis dalam memantau pola arus dan kecepatan di kolam pasang adalah dengan me-ngembangkan metode model numerik.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pola arus dan besar kecepatan aliran di setiap titik medan aliran pada lahan kolam pasang surut.

Manfaat Penelitian

Pola arus dan kecepatan akan dapat mengetahui prediksi kuantitas dan pola konsentrasi parameter kualitas air atau polutan di setiap titik di medan aliran.

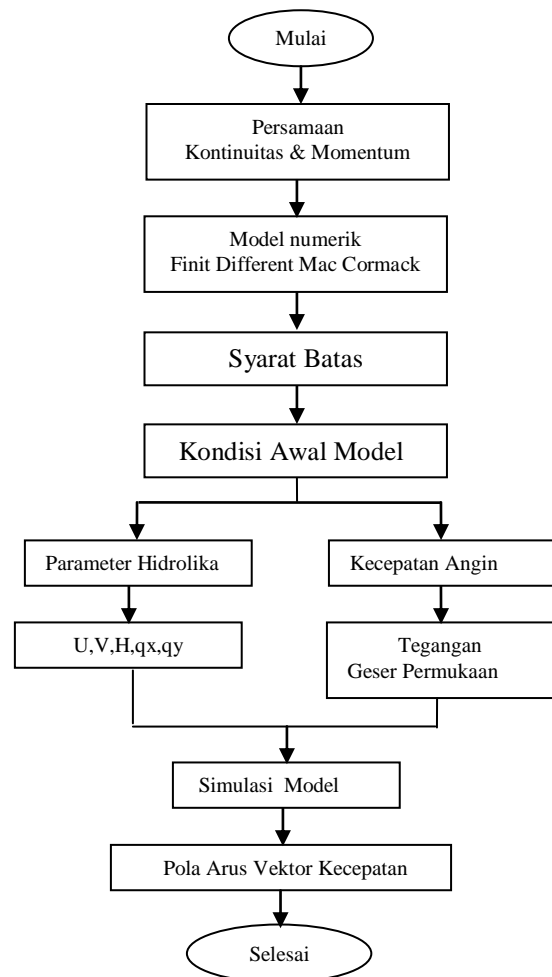
METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan membuat suatu program dalam bahasa Fortran, rumus dasar hidrodinamika yang digunakan adalah persamaan Kontinuitas 2D dan persamaan Momentum 2D. Rumus matematika gerakan air dua dimensi ini diselesaikan dengan metode numerik yaitu metode selisih hingga (*finite different*) eksplisit Mac Cormack. Adapun langkah-langkah penelitian ini sebagai berikut :

1. Tentukan persamaan hidrodinamika yang digunakan yaitu persamaan kontinuitas 2D dan persamaan momentum 2D.

2. Kedua persamaan diatas dibuat model numerik dengan metode *finite different eksplisit Mac. Cormack*.
3. Syarat batas di hulu dan hilir aliran dianalisa dengan Metode Karakteristik.
4. Masukan data lapangan parameter hidrolika sebagai input kondisi awal model simulasi.
5.
 - a. Masukan data kecepatan angin dan hitung gaya geser angin di permukaan air.
 - b. Tentukan parameter hidrolika yang akan dicari (kecepatan dan kedalaman).
6. Lakukan *running* program dengan simulasi model pada keadaan pasang, surut, dan tiupan angin.
7. *Print* pola arus dengan vektor kecepatannya.

Metode penelitian ini dapat dibuat dalam bentuk bagan alir seperti pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Bagan alir metode pembuatan simulasi program aliran air

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persamaan pengatur yaitu persamaan diffrensial partial, persamaan kontinuitas dan momentum yang diselesaikan secara numerik yaitu metode selesih hingga dengan menggunakan cara metode eksplisit Mac Cormack. Persamaan pengatur tersebut sebagai berikut :

1. Persamaan Kontinuitas 2D

$$\partial H / \partial t + \partial / \partial x(UH) + \partial / \partial y(VH) = 0$$

2. Persamaan Momentum 2D

Persamaan kekekalan momentum yang ditinjau pada suatu ruang tilik dengan keseimbangan gaya geser dan normal didapatkan persamaan sebagai berikut :

2.1. Persamaan momentum 2D arah Y

$$\partial / \partial t(VH) + \partial / \partial x(\beta UVH) + \partial / \partial y(\beta VVH) = -gH(\partial H / \partial y) - gHSoy - gHSfy + \frac{\tau_{wy}}{\rho}$$

2.2. Persamaan momentum 2D arah X

$$\partial / \partial t(UH) + \partial / \partial x(\beta UUH) + \partial / \partial y(\beta UVH) = -gH(\partial H / \partial x) - gHSox - gHSfx + \frac{\tau_{wx}}{\rho}$$

Persamaan kontinuitas & momentum diatas dapat ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(E_x) + \frac{\partial}{\partial y}(F_y) = S$$

$$U = [H, UH, VH]^T ; E_x = \begin{bmatrix} UH \\ UUH - \frac{1}{2}gH^2 \\ UVH \end{bmatrix} ;$$

$$F_y = \begin{bmatrix} VH \\ UVH \\ VVH - \frac{1}{2}gH^2 \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} 0 \\ gH(Sox - Sfx) + \frac{\tau_{wx}}{\rho} \\ gH(Soy - Sfy) + \frac{\tau_{wy}}{\rho} \end{bmatrix}$$

3. Metode Karakteristik, metode ini sebagai solusi syarat batas pengaliran di hulu dan hilir, persamaan Karakteristik sebagai berikut:

Persamaan Karakteristik arah sumbu X positif

$$\frac{d}{dt}(U + 2C) = g(Sox - Sfx) + \frac{q}{A}(C - U)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} = U + C$$

Persamaan Karakteristik arah sumbu X negatif

$$\frac{d}{dt}(U - 2C) = g(Sox - Sfx) - \frac{q}{A}(C + U)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} = U - C$$

Persamaan Karakteristik arah sumbu Y positif

$$\frac{d}{dt}(V + 2C) = g(Soy - Sfy) + \frac{q}{A}(C - V)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} = V + C$$

Persamaan Karakteristik arah sumbu Y negatif

$$\frac{d}{dt}(V - 2C) = g(Soy - Sfy) - \frac{q}{A}(C + V)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} = V - C$$

Keterangan :

U, V = kecepatan arah x dan y

C = kecepatan rambat gelombang

$$= \sqrt{gH}$$

H = kedalaman air

Sox = kemiringan dasar saluran arah sumbu x

Soy = kemiringan dasar saluran arah sumbu y

Sfx = kemiringan garis energi arah sumbu x

S_{fy} = kemiringan garis energi arah sumbu y

4. Tegangan geser permukaan air, tiupan angin memberikan suatu gaya geser pada permukaan air, sehingga terjadi tegangan geser, masing-masing sebagai berikut :

* Tegangan geser arah X :

$$\tau_{wx} = \lambda \sqrt{U^2 + V^2} * U$$

* Tegangan geser arah Y :

$$\tau_{wy} = \lambda \sqrt{U^2 + V^2} * V$$

Keterangan :

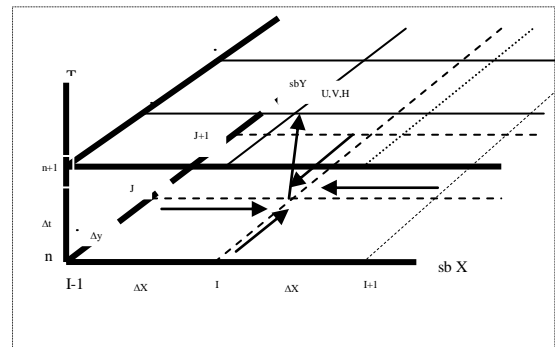
U, V = kecepatan angin arah x dan y

λ = koef. drag

Penyelesaian Numerik

1. Metode selisih hingga

Penyelesaian persamaan hidrodinamika (persamaan kontinuitas dan momentum) diselesaikan dengan metode numerik dengan *finite different* (selisih hingga), prinsip dasar selisih hingga pada dua dimensi (2D) yaitu dengan membuat 3 fungsi besaran beban yaitu Y, X, dan T dengan wilayah dalam koordinat kartesien. Harga kedalaman H, kecepatan U, V atau debit Q dapat dianggap sebagai fungsi dari harga H, U, V, dan Q di titik sekitarnya. Dengan menggunakan metode selisih hingga eksplisit, maka harga fungsi di suatu titik kisi pada selang waktu $t = (n+1) \Delta t$ sepanjang sumbu x atau sumbu y dapat dihitung langsung dengan menggunakan nilai-nilai fungsi di titik tetangga pada selang waktu $t = n \Delta t$ yang sudah diketahui seperti $H_{i,j}^{n+1} = F(H_{i-1,j}^n; H_{i,j-1}^n; H_{i+1,j}^n; H_{i,j+1}^n)$ pada Gambar 2.



Gambar 2. Pembagian selisih hingga metode Mac Cormack

2. Metode Selisih Hingga Eksplisit Mac Cormack

Persamaan hidrodinamika (persamaan kontinuitas & momentum) diselesaikan dengan metode beda hingga eksplisit yang digunakan berdasarkan skema Mac Cormack. Metode ini terdiri dari langkah *Predictor* dan langkah *Corrector* dan kemudian langkah solusi, persamaan sbb. (*American Society of Civil Engineers, 1990*)

• **Langkah Predictor :**

$$\bar{U}_{i,j} = U_{i,j}^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \nabla_x E_{i,j}^n - \frac{\Delta t}{\Delta y} \nabla_y F_{i,j}^n + \Delta t S_{i,j}^n$$

• **Langkah Corrector :**

$$\tilde{U}_{i,j} = \bar{U}_{i,j} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \Delta_x \bar{E}_{i,j} - \frac{\Delta t}{\Delta y} \Delta_y \bar{F}_{i,j} + \Delta t S_{i,j}^n$$

• **Langkah Solusi :**

$$U_{i,j}^{n+1} = 0.5 [U_{i,j}^n + \tilde{U}_{i,j}]$$

Keterangan :

∇ = backward different operator

$\nabla_x E_{i,j} = E_{i,j} - E_{i-1,j}$

Δ = forward different operator

$\Delta = E_{i,j} = E_{i+1,j} - E_{i,j}$

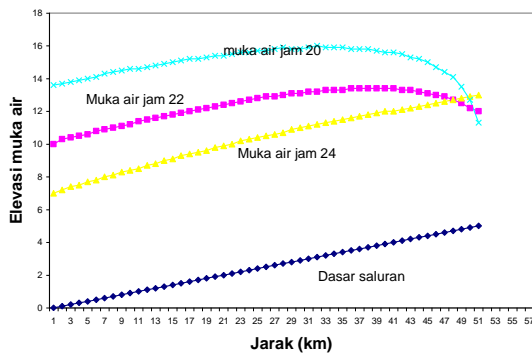
$U_{i,j}$ = kecepatan arah x di titik (i,j) langkah predictor

$\tilde{U}_{i,j}$ = kecepatan arah x di titik (i,j) langkah corrector

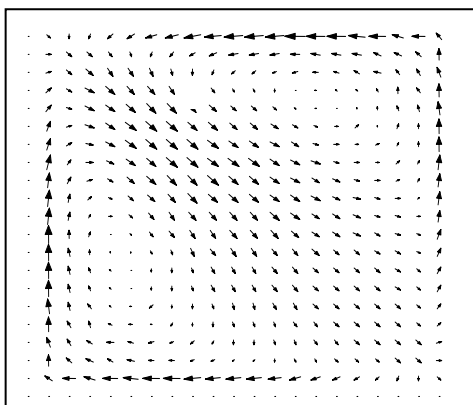
$U_{i,j}^{n+1}$ = kecepatan arah x di titik (i,j) pada level $t = n + 1$

Hasil Dan Diskusi

Keabsahan model numerik metode Mac Cormack di uji dengan eksperimen model yaitu pengujian dengan simulasi model 1-D. Hasil simulasi memuaskan dengan mendapatkan elevasi muka air berubah linear terhadap waktu dan ruang seperti pada Gambar 3. Pengujian selanjutnya dengan model numerik 2-D yang dilakukan pada suatu medan aliran berbentuk segi empat. Hasil simulasi memuaskan dengan mendapatkan pola aliran dengan vektor-vektor kecepatan yang simetris dan dapat mencapai kondisi steady state seperti pada Gambar 4.



Gambar 3. Eksperimen 1, aliran 1-D pengaruh pasang surut



Gambar 4. Eksperimen 2, pola arus 2-D di medan aliran segi empat

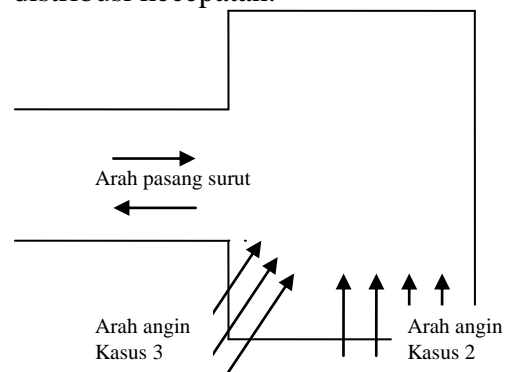
Kasus yang dibahas

Setelah melakukan uji eksperimen model, maka model dicoba dengan kasus keadaan lapangan, yaitu simulasi model medan aliran kolam pasang (kolam pasang surut Barambai) di daerah Kabupaten Barito Kuala Kalimantan

Selatan. Sebagai input data parameter hidrolika (data lapangan) sebagai berikut :

- Kolam pasang = $(350 \times 400) \text{ m}^2$
- Panjang saluran primer = 6450 m
- Kedalaman rata-rata $H = 3,5 \text{ m}$
- Lebar saluran $B = 75 \text{ m}$
- Kekasaran manning $n = 0,020$
- Kemiringan dasar hampir datar
- Kecepatan angin $V_a = 3,7 \text{ km/jam}$

Simulasi model ini dilakukan dengan 3 keadaan dengan menempatkan posisi arah angin seperti pada Gambar 4. Model kasus ini bertujuan untuk mendapatkan pola distribusi kecepatan.



Gambar 5. Simulasi arah angin pada lahan kolam pasang surut

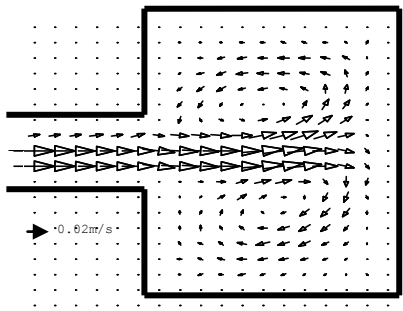
- Kasus 1. Pola arus pasang surut tanpa pengaruh angin
- Kasus 2. Pola arus dengan arah angin bertiup searah tegak lurus kolam pasang.
- Kasus 3, Pola arus dengan arah angin searah diagonal kolam pasang.

Hasil simulasi

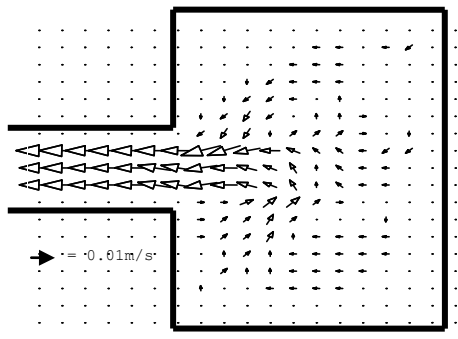
Hasil simulasi kasus 1, pola arus air pasang seperti pada Gambar 6, dan pola arus air surut seperti pada Gambar 7.

Hasil simulasi kasus 2, pola arus air surut dengan pengaruh angin searah tegak lurus kolam pasang seperti pada Gambar 8, dan pola arus air pasangannya seperti pada Gambar 9.

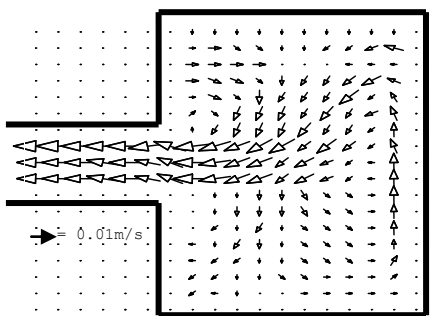
Hasil simulasi kasus 3, pola arus air pasang dengan pengaruh angin searah diagonal kolam pasang seperti pada Gambar 10, dan pola arus air surut seperti pada Gambar 11.



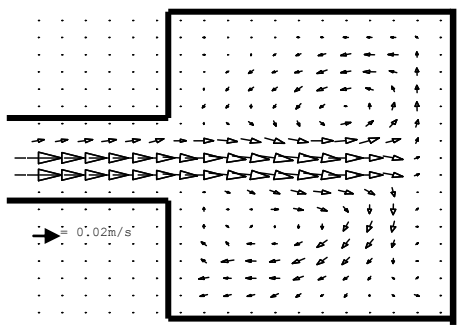
Gambar 6. Pola arus air mulai pasang di kolam pasang (kasus 1)



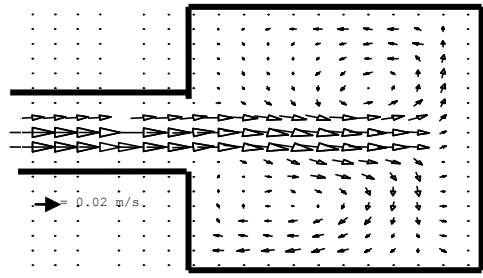
Gambar 7. Pola arus air mulai surut di kolam pasang (kasus 1)



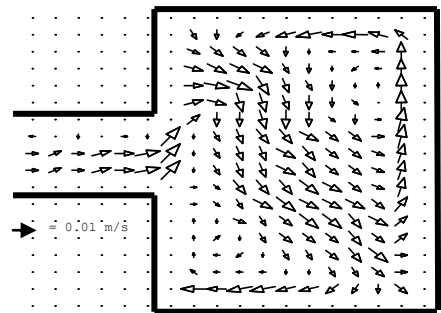
Gambar 8. Pola arus (akibat surut + angin tegak lurus kolam pasang) kasus 2



Gambar 9. Pola arus (akibat pasang + angin tegak lurus kolam pasang) kasus 2



Gambar 10. Pola arus (akibat pasang + arah angin diagonal) kasus 3



Gambar 11. Pola arus (akibat surut + arah angin diagonal) kasus 3

KESIMPULAN

1. Pada saat pasang (Gambar 6), arus air membentuk pola dua olakan aliran simetris, bagian kiri dan kanan kolam pasang, kecepatan rata 0,02 m/dt. Pola aliran di saluran primer, lurus sejajar saluran tersebut dengan kecepatan $> 0,02$ m/dt
2. Pada saat surut (Gambar 7), pola arus air di kolam pasang nonsimetris, arus mengarah ke saluran primer dengan kecepatan rata-rata 0,01 m/dt. Di saluran primer pola arus lurus sejajar saluran dengan kecepatan rata-rata $> 0,01$ m/dt.
3. Pada saat surut (Gambar 8), tiupan angin tegak lurus panjang kolam pasang (kasus 2) mempengaruhi pola aliran, arus ber-gerak menuju saluran primer dengan kecepatan

rata-rata 0,01 m/dt, di tepi kolam pasang, arah arus melawan arah angin sejajar sisi kolam pasang tersebut.

4. Pada saat pasang (Gambar 9), tiupan angin tegak lurus panjang kolam pasang, hampir tidak mempengaruhi pola arus pasang yang ada, Kecepatan rata-rata di kolam pasang 0,02 m/dt dan kecepatan di saluran primer $> 0,02$ m/dt
5. Pada saat pasang (Gambar 10), tiupan angin searah diagonal kolam pasang (kasus 3) hampir tidak mempengaruhi pola arus pasang yang ada, kecepatan rata-rata di kolam pasang $< 0,02$ m/dt dan kecepatan di saluran primer $> 0,02$ m/dt.
6. Pada saat surut (Gambar 11), tiupan angin arah diagonal dapat mempengaruhi pola arus air, di tengah kolam arah arus searah diagonal, daerah tepi kolam, arah kecepatan berbalik arah, sejajar tepi kolam pasang. Kecepatan rata-rata di kolam pasang $> 0,01$ m/dt, dan kecepatan rata-rata di saluran primer $< 0,01$ m/dt. Arus di saluran primer sebagian besar menuju kolam pasang.
7. Secara umum bahwa pengaruh angin terhadap gerak arus air dapat berpengaruh pada saat air surut atau pada kedalaman $< 3,5$ m, (Gambar 8 dan 11), sebaliknya pada saat pasang, pengaruh angin relative kecil terhadap gerakan arusnya. (Gambar 9 dan 10).
8. Kecepatan rata-rata arus pasang dan arus surut berkisar antara 0,01 – 0,02 m/dt
9. Pola arus dan kecepatan yang terjadi di kolam pasang (hasil simulasi) tidak dapat mencapai kondisi *steady state*, karena input data pasang surut yang bersifat periodik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbott, M.B. 1979. Computational Hydraulic : Element of The Theory of Free Surface Flows, Pitman, London.
- American Society of Civil Engineers. August. 1990. Journal of Hydraulics Engineering, Vol. 116.
- Brown, Linfield and Bemwell O., Thomas. August 1985. Computer Program Documentation for The Enhanced Stream Water Quality Model QUAL2e, Departement of Civil Engineering Tufts University Medford.
- Cunge, J.A, Holley, F.M, and Verwey, A. 1980. Practical Aspects of Computational River Hydraulics, Pitman, London.
- Cahyono. 1993. Pemodelan Kualitas Air Di Sungai, Estuary dan laut, Kursus Pemodelan dan Simulasi Komputer, Institut Teknologi Bandung.
- Graf Walter and H, Mortimer Clifford. 1979. Hydrodynamics of Lakes, Proceeding of a Symposium 12 13 Oktober, 1978, Lausanne, Switzerland, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam - Oxford - New York.
- James, A. 1993. An Introduction to Water Quality Modelling, John Willey & Sons, England.
- Mahmood, K, Yevjevch, V. 1975. Unsteady Flow in Open Channel, Waters Resources, USA.
- Rijn Leo C. Van. 1990. Principles of Fluid Flow and Surface Water in Rivers Estuary, Seas And Oceans, Nederland.
- Rusdiansyah, Achmad. 1997. Model Numerik Dua Dimensi Hidrodinamika dan Kualitas Air Di Tambak Pengaruh Penempatan Kincir Terhadap Sirkulasi Arus Dan Penyebaran Oksigen Terlarut, Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung.

¹⁾ Staf pengajar Teknik Sipil Fakultas Teknik Unlam Banjarmasin