

## VERIFIKASI DAN KALIBRASI MODEL MATEMATIS ALIRAN PERMUKAAN DUA DIMENSI (RMA2), PENGARUH *EDDY VISCOSITY* DAN KEKASARAN DASAR PADA POLA ALIRAN

Adam Pamudji Rahardjo<sup>1</sup>, Agus Suroso<sup>2</sup>, Budi Wignyosukarto<sup>3</sup>

### ABSTRACT

*The development of numerical models has provided some potentially useful engineering softwares especially for hydraulic engineering. A software called RMA2 in the BOSS SMS package is one of them that were supposed to be able to simulate 2D depth averaged surface water flow. A study has been conducted to verify the performance of the RMA2 software on flow influenced by tidal backwaters.*

*The verification was done by comparing the result of flow simulation of dynamic backwater flow on a sinuous channel with a narrow section and the measured data on a physical model of flow on the same system. The measurement of flow velocity and flow pattern implemented particle image velocimetry method by using foam/patched floating tracer. Flow velocity data on several flow measurement stations were analysed quantitatively and the flow patterns were discussed qualitatively.*

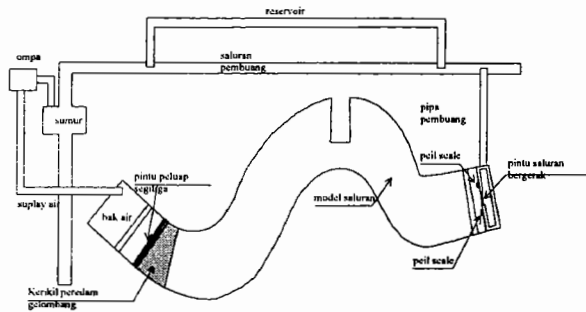
*The result of the study shows that the curves of velocity magnitudes on all measurement measured from the physical model and simulated by the mathematical model have very small differences. This result was achieved by implementing several zones in the computational domain with different roughness and diffusion coefficients. Both the mathematical and physical model shows similar pattern.*

### PENDAHULUAN

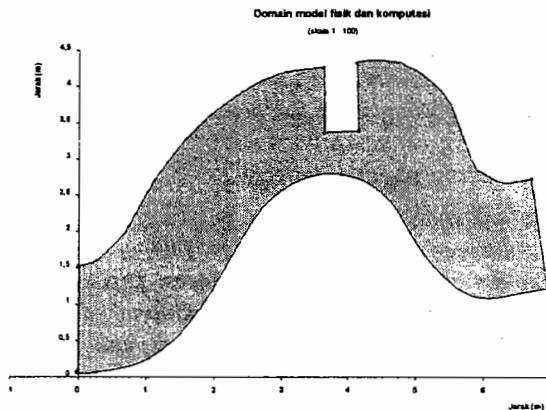
Sirkulasi aliran di muara sungai yang dipengaruhi pasang surut dapat dianalisis dengan menggunakan model fisik dan model matematis. Salah satu program komputasi untuk memprediksi fenomena tersebut adalah RMA2. Software ini menyediakan fasilitas untuk pemodelan numeris aliran permukaan dua dimensi, baik pada aliran permanen maupun aliran tak permanen. Fasilitas tersebut mencakup *Pre-processing Unit* dan *Post-processing Unit*. Persamaan numeris yang digunakan adalah persamaan aliran permukaan rata-rata kedalaman (*depth Average*), sedangkan metode yang digunakan pada pemodelan adalah Metode Elemen Hingga (MEH).

<sup>1</sup> Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Penelitian ini mengaplikasikan software tersebut di atas, yang diterapkan pada suatu model fisik di laboratorium untuk pola aliran dan kecepatan arus permukaan, akibat adanya pengaruh gelombang pasang surut. Situasi model fisik dan model matematis dapat dilihat pada gambar di bawah ini,



SKETSA SITUASI MODEL FISIK DI LABORATORIUM (tanpa skala)



Gambar 1. Denah, foto dan situasi model fisik dan matematik.

**MODEL MATEMATIS ALIRAN DUA DIMENSI**

Formulasi matematis sirkulasi aliran karena pengaruh pasang surut melibatkan persamaan aliran dan persamaan konservasi massa dasar sungai. Pada penelitian ini lingkup pembahasan dibatasi untuk aliran dua dimensi horisontal rata-rata kedalaman (*depth Average*). Untuk mempresentasikan mekanisme alirannya pada kondisi di atas dipakai model numeris RMA2 versi 435.

**1. Model numeris RMA2**

RMA2 merupakan model numeris dua dimensi horisontal dengan kecepatan rata

digunakan pada sungai yang mempunyai permukaan luas, dan variasi kecepatan terhadap kedalaman relatif kecil. Percepatan gravitasi lebih dominan dibandingkan percepatan aliran arah vertikal, sehingga distribusi tekanan dapat didekati dengan hidrostatis. Persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi persamaan aliran air dangkal (*shallow water equation* atau *long wave equation*), yang mempunyai bentuk sebagai berikut ini (Boss SMS, 1996).

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left( E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left( \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{g n^2}{\left( 1.486 h^{1/6} \right)^2} \left( u^2 + v^2 \right)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \psi - 2h \omega v \sin \phi = 0 \tag{1}$$

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left( E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left( \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{g n^2}{\left( 1.486 h^{1/6} \right)^2} \left( u^2 + v^2 \right)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \psi + 2h \omega v \sin \phi = 0 \tag{2}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \tag{3}$$

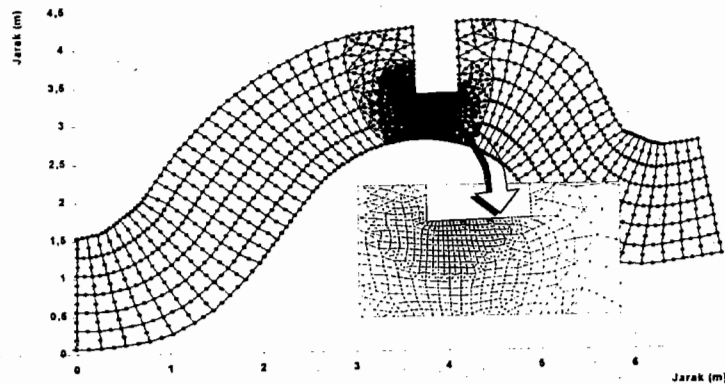
dengan :

- h = kedalaman,
- u,v = kecepatan pada arah sumbu x dan y
- x,y,t = koordinat *cartesian* dan waktu,
- ρ = rapat massa zat cair,
- E = koefisien *Eddy Viscosity*,  
untuk xx adalah arah normal pada sumbu x, untuk yy adalah arah normal pada sumbu y, untuk xy dan yx adalah arah *shear* pada tiap-tiap permukaan,
- g = percepatan gravitasi,
- a = elevasi dasar,
- n = nilai kekasaran *Manning*,
- 1.486 = konversi dari unit metrik ke *English unit*,
- ζ = koefisien gesekan angin,
- V<sub>a</sub> = kecepatan angin,
- ψ = sudut arah angin,
- ω = kecepatan angular rotasi bumi,
- φ = *latitude* lokal.

Walaupun persamaan-persamaan di atas adalah untuk aliran tak permanen, namun problem aliran permanen dapat dihitung dengan memberi nilai nol pada suku pertama dari ketiga rumus di atas. Diskritisasi persamaan dengan menggunakan metode elemen hingga melibatkan proses iterasi, dan pada setiap iterasi dapat dilihat selisih (*error*) dari hasil iterasi sebelumnya. Nilai selisih ini dapat dipakai sebagai indikator konvergensi dari iterasi tersebut. Jumlah iterasi diatur pada saat mengisi kondisi batas (*file bc.\**)

## 2. Diskritisasi Model

Analisis hitungan pada RMA2 menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH), yang di implementasikan pada proses diskritisasi daerah model. Pada proses diskritisasi pada penelitian ini, digunakan bentuk elemen gabungan segitiga dan segi empat kuadratis. Penyiapan data input kondisi batas, input parameter-parameter aliran dan sedimen, serta diskritisasi domain model dilakukan dengan menggunakan fasilitas yang telah disediakan di *Software Boss SMS*. Di bawah ini dapat dilihat bentuk dari diskritisasi daerah model komputasi,

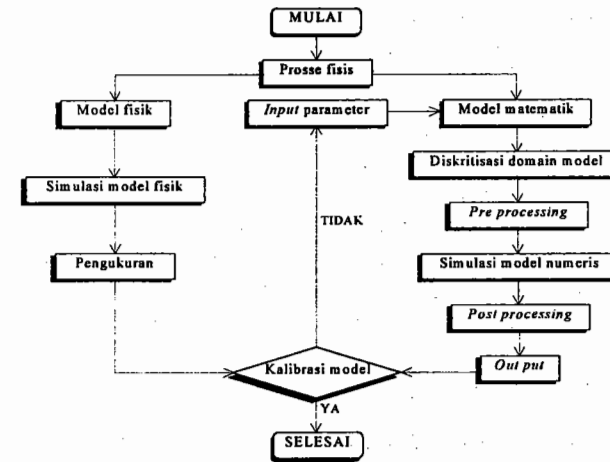


Gambar 2. Diskritisasi domain model komputasi.

## APLIKASI MODEL MATEMATIS

Aplikasi model matematis pada penelitian ini secara umum mengikuti diagram alir seperti pada Gambar 3 di bawah.

Dari diagram tersebut di atas terlihat bahwa proses fisik merupakan langkah awal dari suatu pemodelan. Proses fisis didekati dengan suatu formulasi matematis tanpa melihat domain yang akan ditinjau. Setelah diperoleh pendekatan formulasi matematis, selanjutnya membuat diskritisasi persamaan tersebut, dengan mengikuti metode yang ada seperti metode beda hingga, metode elemen hingga, metode volume hingga dan lain sebagainya. Program komputasi disusun berdasarkan diskritisasi persamaan dan diskritisasi daerah model, yang selanjutnya dapat dimasukkan data input kedalam model fisik dan model komputasi. Hasil pengukuran model fisik dan *out put* dari komputasi



Gambar 3. Diagram aplikasi model matematis.

## 1. Model Fisik

Model saluran dibuat di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, merupakan alat utama yang digunakan pada penelitian ini. Kondisi batas hulu berupa debit yang dialirkan kedalam model saluran sebesar  $0.0055 \text{ m}^3/\text{det}$ , dan batas hilir berupa fluktuasi muka air yang diatur dengan menggunakan pintu mengikuti simulasi gelombang sinusoidal pasang surut. Untuk menunjukkan pola aliran dan kecepatan arus permukaan digunakan metode *Particle Image Velocimetry* (PIV) dengan partikel dari gabus, yaitu suatu prosedur pengukuran medan kecepatan aliran berdasarkan bayangan partikel. Metode pengukuran ini tidak mengusik aliran yang sedang diukur, dan pada suatu langkah waktu dapat diperoleh data kecepatan aliran pada banyak titik dalam suatu medan aliran. Gabus yang disebar di model saluran akan terbawa oleh arus permukaan, dan hal ini akan menunjukkan adanya pola aliran permukaan yang terjadi. Kemudian dilakukan penyinaran pada gabus yang disebar tadi, dan diambil gambarnya (difoto) dengan menggunakan kamera yang telah diatur kecepatan dan bukaan rananya. Pengambilan gambar dilakukan pada suatu medan aliran dan pada suatu langkah waktu. Gambar yang dihasilkan berupa garis-garis kecil, dan dengan hitungan skala akan dihasilkan kuantitas kecepatan aliran permukaan di lokasi garis tersebut berada.

## 2. Model Matematis

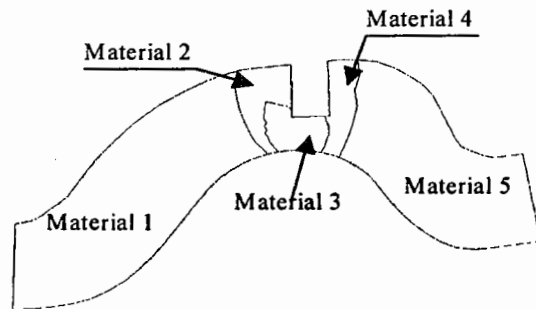
Software Boss SMS adalah perangkat lunak *pre* dan *post processor* untuk program komputasi yang menggunakan diskritisasi elemen hingga. Penggunaan program komputasi ini meliputi penyiapan data (*pre processing unit*), berupa diskritisasi daerah model, pengisian kondisi batas berupa nilai debit, elevasi muka air di hilir, parameter aliran dan numeris, serta data input karakteristik sedimen. Dengan siapnya data input tadi, maka eksekusi program RMA2 dapat dilakukan. Hasil simulasi pada umumnya ditampilkan

### 3. Kalibrasi Model

Kalibrasi merupakan suatu proses bertahap dan berulang yang melakukan pengaturan dan penyesuaian atas koefisien-koefisien model numeris dan data input, agar terpenuhinya kesesuaian hasil antara model numeris dan model fisik. Kalibrasi pada kedua model dalam penelitian ini, dilakukan dengan mengamati fenomena yang terjadi di model fisik kemudian mencari suatu nilai parameter yang tepat pada model matematis dan membandingkan hasil simulasinya. Apabila hasil simulasi model numeris dianggap telah sesuai atau mendekati fenomena yang terjadi di model fisik, maka proses kalibrasi dianggap telah terpenuhi. Kalibrasi dilakukan secara kualitatif untuk pola aliran dan secara kuantitatif untuk kecepatan aliran permukaan.

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan hasil simulasi model matematis yang mendekati model fisik, dilakukan kalibrasi terhadap beberapa parameter aliran. Parameter yang berpengaruh terhadap suatu hasil simulasi hidrodinamik adalah parameter *Eddy viscosity* (E) dan kekasaran dasar (n Manning). Pengisian nilai E dan n pada model numeris yang di dalam SMS disebut dengan istilah tipe *material* dibagi dalam beberapa daerah luasan (pias). Karena parameter E dan n tergantung terhadap perubahan kecepatan dan kedalaman air, maka dalam pengisian nilainya tidak sama untuk seluruh saluran. Sehingga dalam pengisiannya dibagi dalam beberapa pias sesuai dengan rerata kecepatan aliran dan kedalaman air pada suatu medan aliran. Di bawah ini dapat dilihat pembagian pias model saluran, untuk keperluan pengisian nilai E dan n,

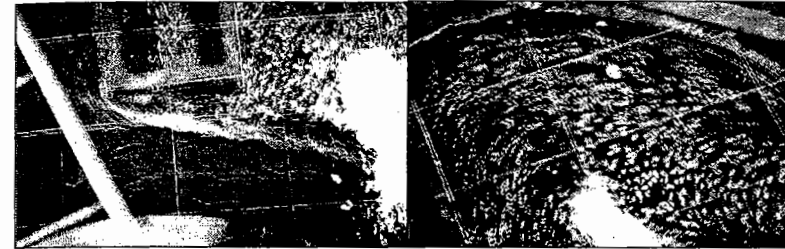


Gambar 4. Pembagian pias pada model saluran.

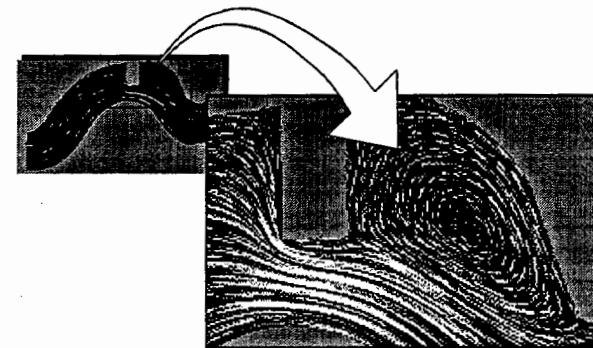
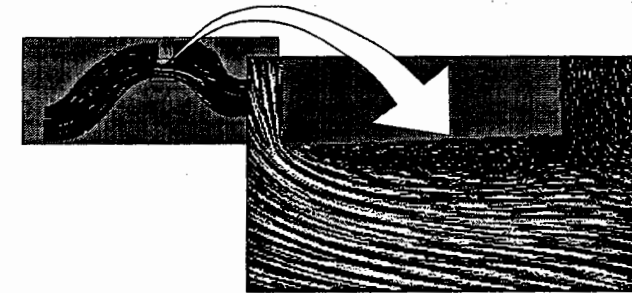
Untuk mendapatkan nilai E dan n yang sesuai, diperlukan proses kalibrasi berulang-ulang, agar hasil simulasi mendekati model fisik. Hasil kalibrasi terhadap parameter E dan n pada penelitian ini adalah sebagai berikut, material 1 sebesar 2.5, material 2 sebesar 2.5, material 3 sebesar 0.13, material 4 sebesar 1.0, dan material 5 sebesar 1.0.

### 1. Pola aliran

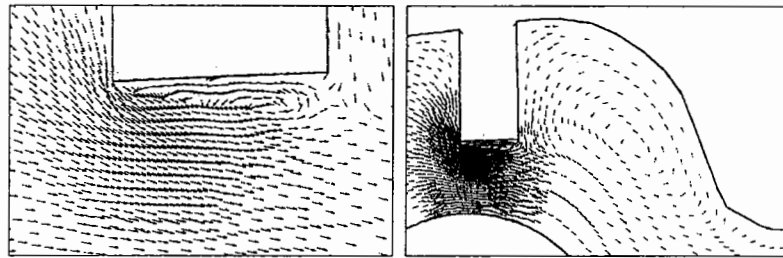
Secara kualitatif tingkat kesesuaian hasil simulasi pola aliran permukaan antara model fisik dan numeris tidak jauh berbeda. Hal ini dapat ditunjukkan dengan adanya pola aliran permukaan yang membentuk pusaran, dimana fenomena ini terjadi di tempat yang sama antara kedua model. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada gambar berikut ini.



Gambar 5. Pola aliran yang terjadi di depan dan sebelah hilir Krib pada model fisik.



Gambar 6. Pola aliran yang terjadi di depan dan sebelah hilir Krib pada model matematis.

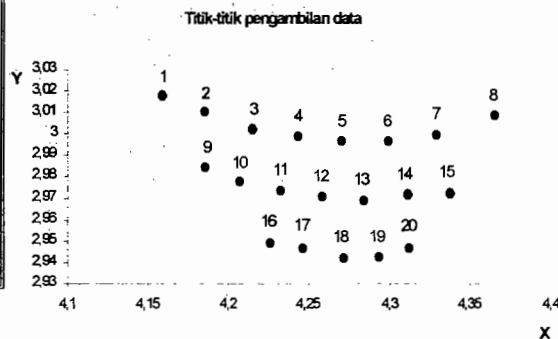


Gambar 7. Vektor aliran yang terjadi di depan dan sebelah hilir Krib pada model matematis.

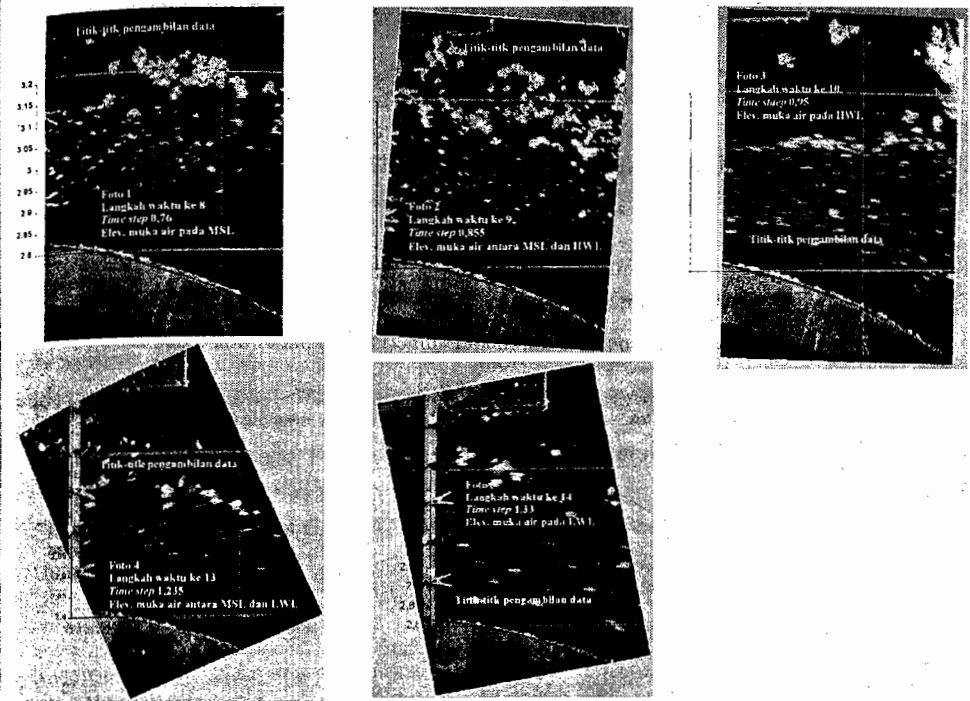
Penyempitan saluran oleh halangan berupa krib yang terdapat pada model saluran mengakibatkan terjadinya kontraksi aliran di daerah tersebut. Pada penyempitan aliran yang berubah secara cepat, terjadi percepatan aliran di depan krib. Di daerah ini terjadi penurunan elevasi permukaan air, dan arus yang berubah tadi akan berkurang yang mengakibatkan lebar bukaan sedikit lebih kecil dari lebar bukaan nominalnya. Setelah aliran air melewati krib akan timbul aliran sekunder, dan gaya sentripetal yang menahan aliran air tetap pada lintasannya. Gaya sentripetal di dekat permukaan air lebih besar dari pada di dekat dasar, yang mengakibatkan timbulnya pusaran air. Aliran dekat permukaan cenderung bergerak mengalir ke sisi krib, sedangkan aliran di bawah bergerak ke sisi belokan dan terus mengalir sampai ke hilir. Kejadian ini seperti ditunjukkan pada Gambar 5 sampai 7.

Pengamatan kecepatan aliran permukaan pada model fisik dan numeris di lakukan di beberapa titik pengukuran pada suatu medan aliran dan pada langkah waktu yang berturut-turut. Titik-titik pengukuran pada kedua model dapat dilihat pada gambar di bawah ini,

No. titik	X (m)	Y (m)
1	4,3121	2,9468
2	4,2935	2,9424
3	4,2714	2,9419
4	4,2460	2,9468
5	4,2259	2,9493
6	4,3375	2,9723
7	4,3111	2,9718
8	4,2837	2,9688
9	4,2582	2,9708
10	4,2323	2,9737
11	4,2073	2,9776
12	4,1858	2,9845
13	4,3650	3,0090
14	4,3287	2,9997
15	4,2989	2,9967
16	4,2700	2,9967
17	4,2431	2,9987
18	4,2151	3,0021
19	4,1853	3,0105
20	4,1588	3,0178



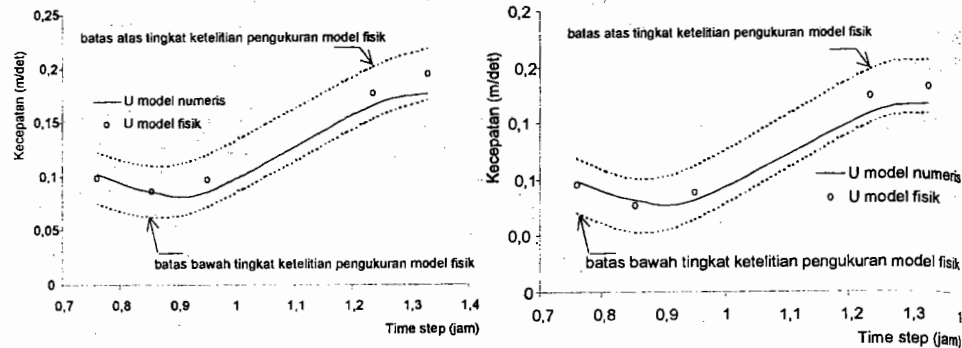
Koordinat titik-titik pengamatan di atas diplotkan kedalam gambar hasil foto kecepatan aliran permukaan dan pada suatu langkah waktu, seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 8. Ploting titik-titik pengamatan pada foto medan kecepatan

Pengukuran kecepatan aliran permukaan dilakukan dengan mengukur panjang garis di titik-titik pengamatan. Kemudian dengan hitungan skala akan di dapat kecepatan aliran permukaan di titik tersebut. Hasil pengamatan di beberapa titik pengamatan di atas, dapat dilihat pada Gambar 9 sampai 11.

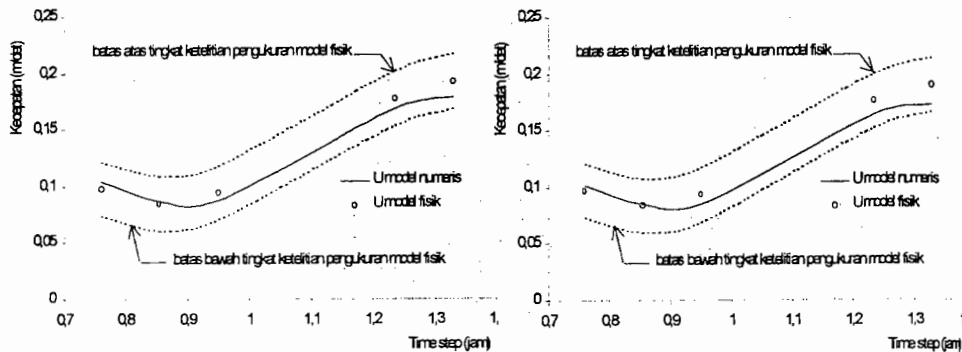
Gambar 9 sampai 11 menunjukkan adanya *trend* grafik yang periodik, hal ini disebabkan oleh simulasi model gelombang pasang surut. Tingkat kesesuaian *trend* hasil simulasi dari kedua model tersebut tidak jauh berbeda. Sedikit perbedaan kemungkinan terjadi karena kesalahan dalam pengukuran, dan keterbatasan alat yang digunakan dalam mengambil data di model fisik.



Hasil simulasi model fisik dan numeris di titik 2.

Hasil simulasi model fisik dan numeris di titik 7.

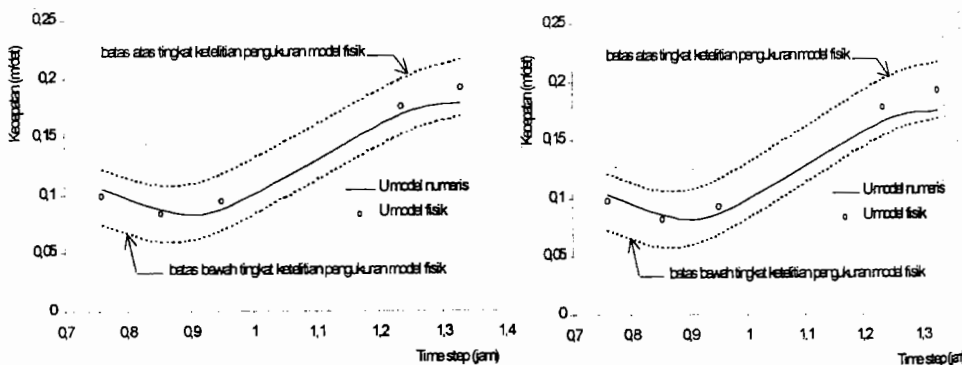
Gambar 9. Kecepatan permukaan model numeris dan fisik di titik 2 dan 7.



Hasil simulasi model fisik dan numeris di titik 10.

Hasil simulasi model fisik dan numeris di titik 13.

Gambar 10. Kecepatan permukaan model numeris dan fisik di titik 10 dan 13.



Hasil simulasi model fisik dan numeris di titik 17.

Hasil simulasi model fisik dan numeris di titik 19.

## KESIMPULAN

Dari hasil simulasi model fisik dan numeris, serta pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan berikut ini.

1. Hasil simulasi model numeris untuk pola aliran, secara kualitatif dapat ditunjukkan dengan adanya pusaran air di tempat yang tidak jauh berbeda dengan model fisik,
2. Dengan masukan data input yang telah terkalibrasi pada model numeris, menghasilkan kecepatan arus permukaan di beberapa titik pengamatan yang tidak jauh berbeda dengan model fisik. Dan secara grafis dapat ditunjukkan dengan adanya pola aliran yang periodik, akibat dari simulasi gelombang pasang surut di bagian hilirnya,
3. *Software Boss SMS* cukup handal bila digunakan dalam simulasi hidrodinamika, dan dengan tersedianya fasilitas pemodelan pada *software* tersebut, akan memberikan kemudahan dalam pengoperasiannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1997, *Surface Water Modeling System*, Versi 5.08, Engineering Computer Graphics Laboratory, Brigham Young University.
- Chow, V. T., 1959, *Open Channel Hydraulics*, Mc. Graw Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo.
- Dumadi, A. Ig., 1997, *Studi Kinerja Hidraulik Krib Terhadap Pola Arus dan Dinamika Dasar Saluran yang Dipengaruhi Pasang Surut*, tesis S2 Jurusan Pengutamaan Rekayasa Sumber Daya Air, Program Studi Teknik sipil, ITB, Bandung.
- Rahardjo, A. P., dan Wignyosukarto, B., 1993, *Tinjauan Kemampuan Software Model Numeris Aliran Permukaan Dua Dimensi "Fasttabs" Pada Model Sungai Mahakam di Tanjung Batu*, Seminar Nasional Peran Teknik Hidraulik dan Hidrologi dalam Pengembangan Sumber Daya Air, PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- Tim Fakultas Teknik UGM, 1996, *Workshop Aplikasi Model Matematik, Analisa Sedimentasi dan Penyebaran Panas PLTGU*, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Triatmodjo, B., 1991, *Problem Muara Sungai*, Kursus singkat Pengelolaan Sungai, PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- Triatmodjo, B., 1993, *Hidraulika I*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, B., 1995, *Hidraulika II*, Beta Offset, Yogyakarta.