

**APLIKASI MODEL MATEMATIK DUA DIMENSI DALAM PENANGANAN  
KERUSAKAN TEBING SUNGAI  
(Studi Kasus: Sungai Sesayap, Kabupaten Malinau, Kaltim)**

**Oleh: Puji Harsanto**

*Abstraksi*

*Untuk membuat solusi penanganan terhadap permasalahan sedimentasi, erosi dasar sungai dan erosi tebing sungai memerlukan kajian hidrodinamika. Metode yang biasa digunakan untuk mengkaji kejadian masa sekarang dan masa yang akan datang adalah dengan membuat model model fisik dan model matematik.*

*Pada kasus sedimentasi dan erosi dasar sungai yang terjadi di Sungai Sesayap Kabupaten Malinau, kajian model matematik dalam penelitian ini diterapkan untuk menunjang dalam mencari solusi penanganan yang tepat.*

*Kata kunci: Model matematik, Sungai Sesaya, Malinau*

**LATAR BELAKANG**

Permasalahan sedimentasi, erosi dasar sungai dan erosi tebing sungai disebabkan oleh proses hidrodinamika (pola arus dan kecepatan) di sungai tersebut. Proses hidrodinamika merupakan proses yang panjang dan terus menerus selama masih ada pengaliran di sungai tersebut. Dengan demikian, untuk membuat solusi penanganan memerlukan kajian hidroninamika yang terjadi sekarang dan yang akan datang. Yang dimaksud kondisi yang akan datang adalah kondisi dimana bangunan penanganan sungai sudah ada. Metode yang biasa digunakan untuk mengkaji kejadian masa sekarang dan masa yang akan datang adalah dengan membuat model. Model yang digunakan ada dua macam yaitu model fisik dan model matematik.

Model fisik adalah bangunan tiruan dari kondisi lapangan yang dibuat sekala lebih kecil dari yang sebenarnya. Untuk membuat model fisik memerlukan ruang dan peralatan laboratorium sesuai kebutuhan. Model fisik kurang fleksibel jika penanganannya terdiri dari beberapa alternatif karena memerlukan ruang dan biaya yang besar.

Model matematik adalah tiruan kondisi fisik lapangan yang diterjemahkan dalam persamaan matematik dengan memegang kaidah-kaidah yang berlaku. Model matematik dikerjakan dengan perangkat lunak dan bahasa-bahasa pemrograman yang sudah dikemas dalam sebuah software. Model matematik untuk mengkaji proses hidrodinamika sudah banyak dikembangkan. Model matematik memberikan keuntungan jika solusi penanganan terdiri dari beberapa alternatif karena tidak memerlukan ruang yang luas untuk membuatnya.

Pada kasus sedimentasi dan erosi dasar sungai yang terjadi di Sungai Sesayap Kabupaten Malinau, kajian model matematik dalam penelitian ini diterapkan untuk menunjang dalam mencari solusi penanganan yang tepat. Model matematik disini digunakan untuk mengkaji hidrodinamika aliran sungai antara kondisi eksisting dan kondisi setelah konstruksi. Model matematik yang digunakan adalah RMA2- yang di-*interface*-kan dengan software SMS BOSS versi 8.1.

## MODEL MATEMATIK DUA DIMENSI

Model matematik RMA 2 yang digunakan untuk produksi hidrodinamika aliran didasarkan pada 2 persamaan dasar, yaitu persamaan konservasi massa (persamaan kontinuitas) dan persamaan momentum, sebagai berikut :

Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Persamaan Momentum

Persamaan momentum untuk aliran dua dimensi pada arah x dan y dapat ditulis dalam bentuk persamaan berikut ini:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left( \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) - \frac{\varepsilon_{xx}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\varepsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left( \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - \frac{\varepsilon_{yy}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} - \frac{\varepsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0 \quad (3)$$

dengan :

- u = kecepatan horisontal aliran arah-x ,
- v = kecepatan horisontal arah-y,
- t = fungsi waktu ,
- g = percepatan gravitasi ,
- h = kedalaman air,
- $\alpha_0$  = elevasi dari dasar tampang,
- $\rho$  = massa jenis,
- $\varepsilon_{xx}$  = koefisien pertukaran turbulensi normal arah-x,
- $\varepsilon_{xy}$  = koefisien pertukaran turbulensi tangensial arah-x,
- $\varepsilon_{yx}$  = koefisien pertukaran turbulensi tangensial arah-y,
- $\varepsilon_{yy}$  = koefisien pertukaran turbulensi normal arah-y
- C = koefisien kekasaran Chezy (atau koef. Manning,  $n = 1/C h^{1/6}$ )

## PROSEDUR PEMODELAN

Langkah awal dalam kajian adalah penetapan domain model, yaitu kawasan perairan proyek dimana pola arus akan disimulasikan. Domain model ini akan direpresentasikan ke dalam jaring elemen (*mesh*) diskrit.

Data-data yang dibutuhkan dalam kajian model matematik secara umum adalah sebagai berikut :

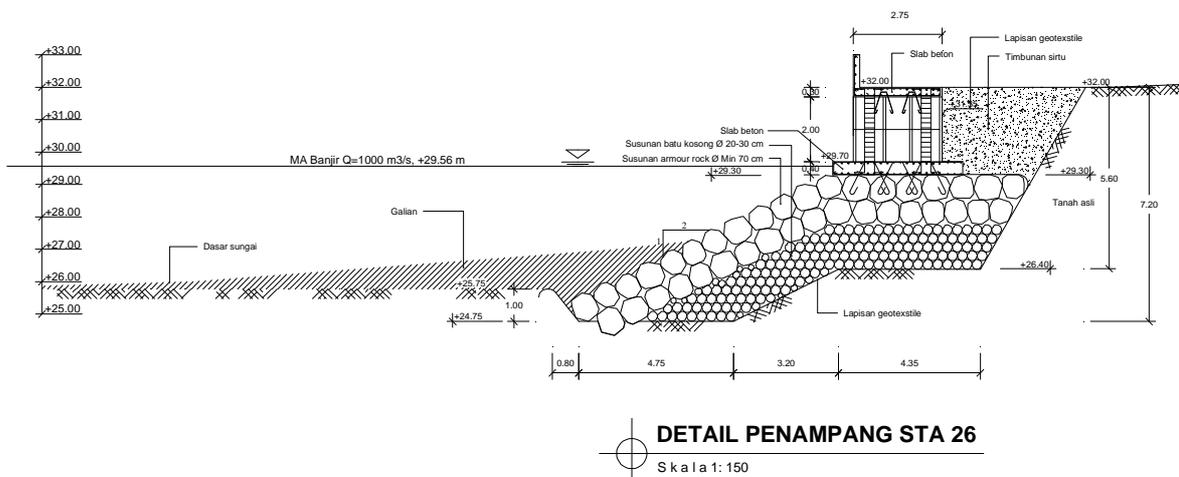
- Data batimetri (data primer)
- Data pasang surut (data primer)
- Layout dan topografi kondisi fisik eksisting meliputi bangunan-bangunan yang ada, terutama bangunan yang berada tebing sungai (data primer)
- Data tipe material dasar sungai (data sekunder)
- Data debit banjir dan rata-rata (data sekunder)

### Kondisi Eksisting

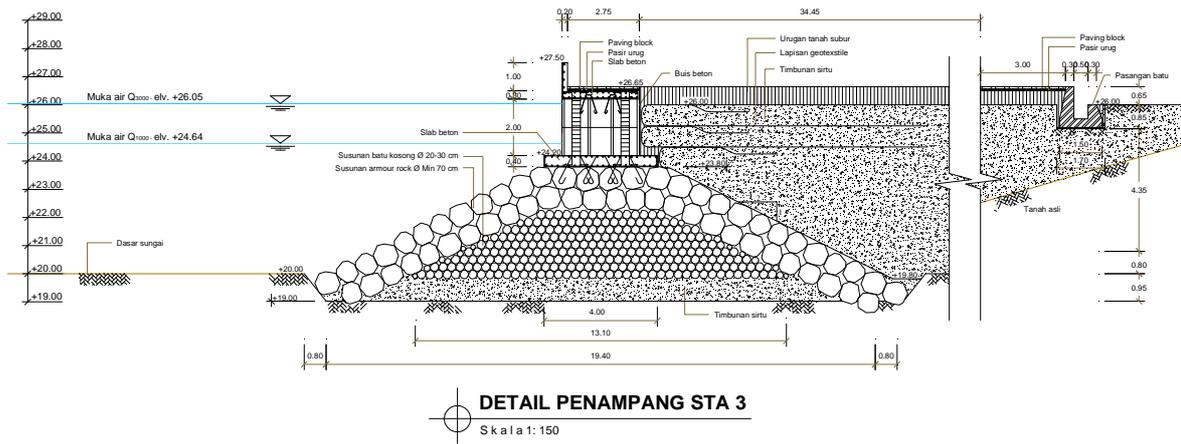
Kondisi eksisting, yaitu kondisi perairan Sungai Sesayap saat ini sesuai dengan hasil survey lapangan terakhir. Untuk simulasi kondisi batas hulu model berupa debit saluran yang berada di sungai, sedang kondisi batas hilir berupa muka air pasang surut.

### Kondisi Alternatif

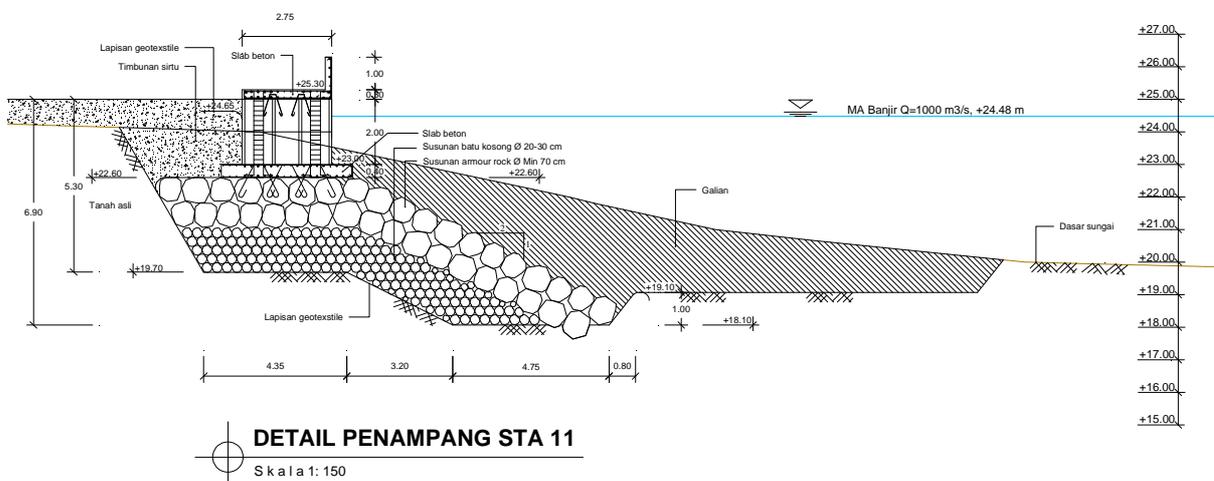
Kondisi alternatif, yaitu kondisi Sungai Sesayap dengan perlakuan atau penanganan tertentu. Adapun penanganan yang dilakukan pada kasus Sungai Sesayap adalah penanganan terhadap gerusan tebing sungai. Tipe alternatif penanganan tebing sungai adalah sebagai berikut:



Gambar 1 Tipikal *revetment* di Tanjung Lapang



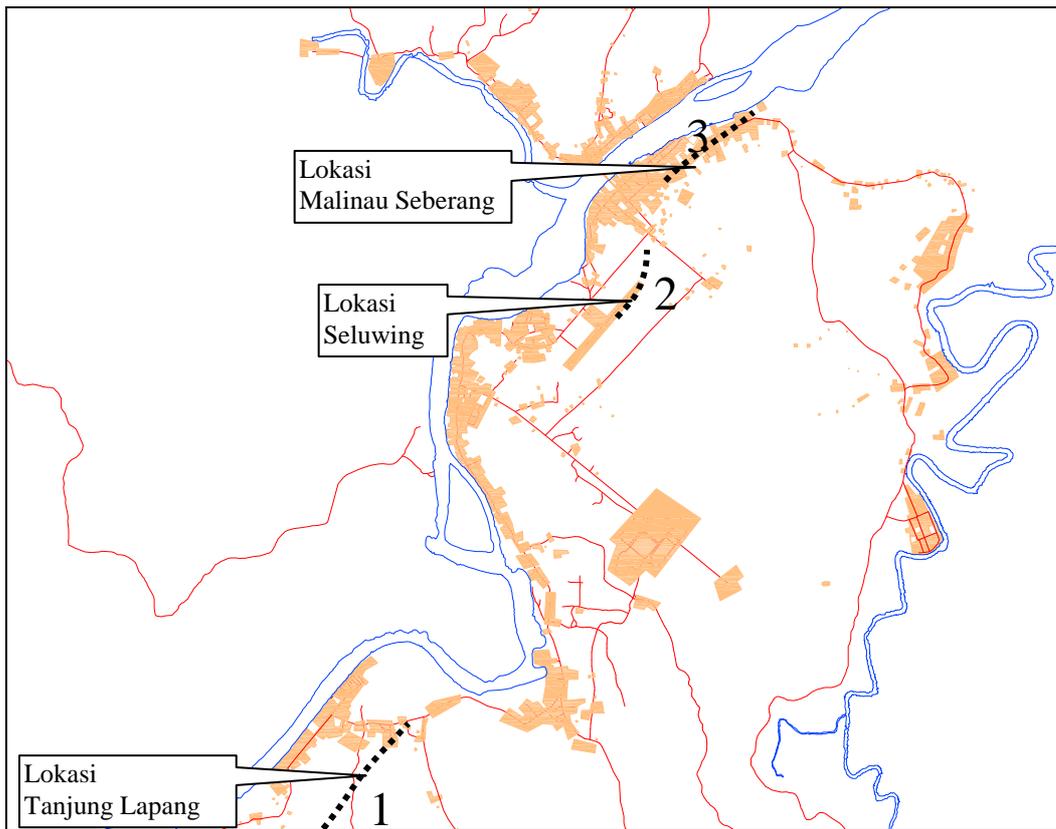
Gambar 2 Tipikal *revetment* di Seluwing



Gambar 3 Tipikal *revetment* di Malinau Seberang

Pengerukan dasar sungai dan normalisasi sungai dengan maksud untuk menambah kapasitas tampang dan mengurangi kecepatan arus yang terjadi.

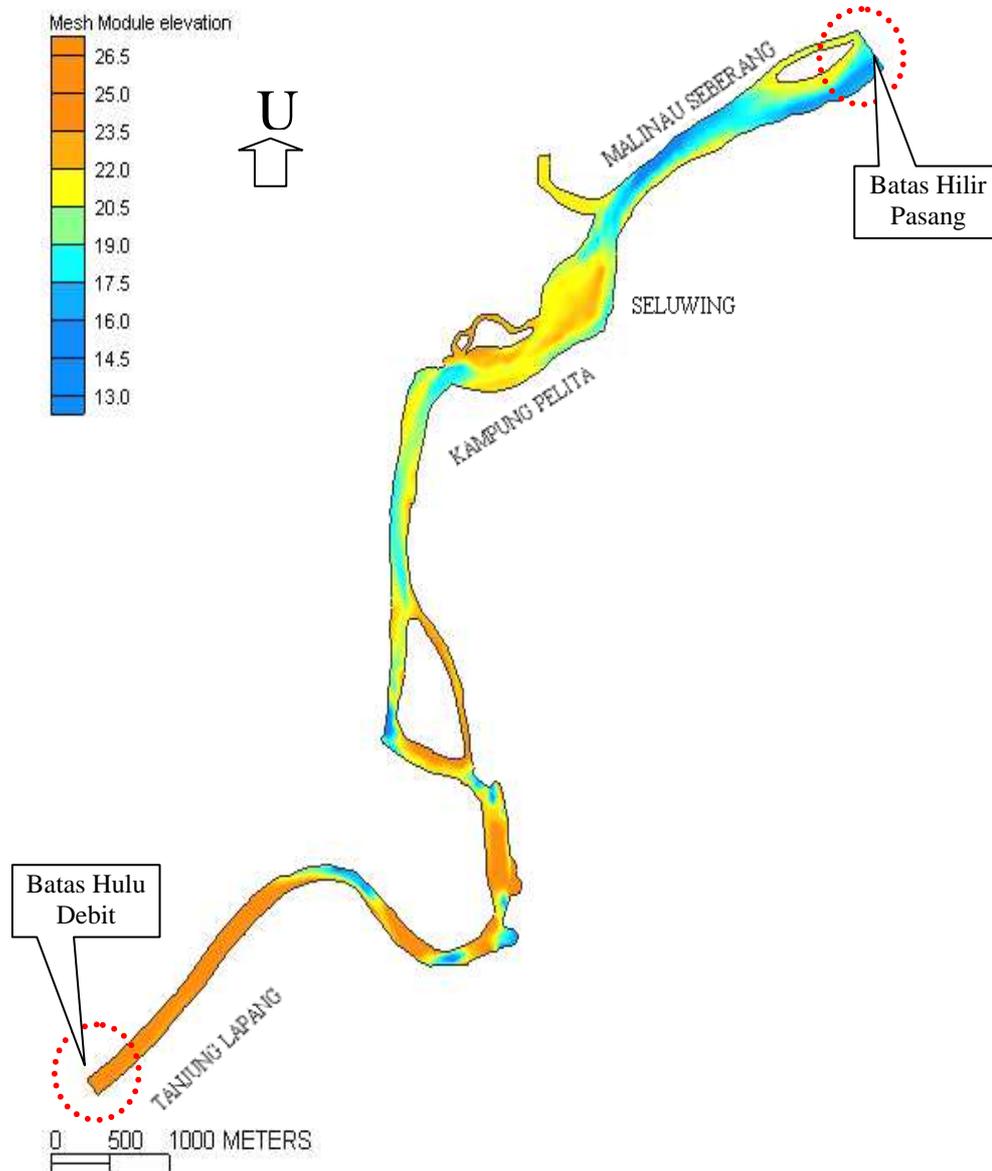
Perkuatan tebing sungai dengan maksud memperkuat tebing sungai sehingga terhindar dari gerusan tebing. Perkuatan tebing sungai dilakukan di Tanjung Lapang sisi kanan (1), Seluwing sisi kanan (2) dan Malinau Seberang sisi kiri (3) seperti dijelaskan dalam Gambar Error! No text of specified style in document..



Gambar **Error! No text of specified style in document.** Lokasi penempatan bangunan pengaman tebing di Sungai Sesayap

Kondisi perairan Sungai Sesayap tepatnya di Malinau masih dipengaruhi oleh pasang surut walaupun sudah tidak dominan. Pengaruh pasang surut tidak sampai membuat arus sungai berganti arah ke hulu disaat pasang. Walaupun demikian dalam setiap skenario simulasi tetap memperhatikan kondisi pasang surut dari hilir. Domain model dimana pola arus akan disimulasikan dengan model matematik SMS mencakup batas hilir adalah Pelabuhan Speed lama dan batas hulu adalah sekitar Tanjung Lapang. Pada domain model tersebut, dibuat jaring elemen (*mesh*) yang merupakan representasi domain fisik kedalam domain matematik. Geometri jaring elemen kondisi eksisting disusun berdasarkan peta bathimetri hasil pengukuran terbaru. Domain model simulasi Sungai Sesayap seperti ditunjukkan pada

Gambar 1.



Gambar 1 Domain model matematik Sungai Sesayap

### PARAMETER MODEL

Parameter model, yang merupakan parameter hidraulik, terdiri dari koefisien kekasaran dasar sungai (koefisien Manning,  $n$ ), viskositas turbulen (*eddy viscosity*, koefisien difusi,  $\epsilon$ ) aliran, dan koefisien difusi sebaran sedimen ( $C$ ). Nilai parameter-parameter model tersebut sangat bergantung pada sifat aliran.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

## **POLA ARUS PADA BERBAGAI KONDISI PENANGANAN**

Pola arus dievaluasi pada dua kondisi aliran sungai yaitu pada saat pasang dan pada saat surut. Dengan memasukan data pasang surut pada kondisi batas hilir dan debit pada kondisi batas hulu, model hidrodinamika aliran dapat memprediksi pola sebaran arus yang terjadi pada pias sungai yang ditinjau. Gambaran pola arus dapat disajikan dalam vektor dan kontur kecepatan yang terjadi. Pada kajian pola arus di Sungai Sesayap ini diperlukan untuk mengetahui pola arus dan kecepatan yang terjadi pada pias sungai untuk kondisi eksisting dan kondisi setelah ada penanganan sungai. Penanganan di sini adalah penempatan *revetment* pada sisi tebing sungai di Tanjung Lapang dan Seluwing serta penanganan berupa pengerukan alur sungai dengan beberapa kondisi pengerukan.

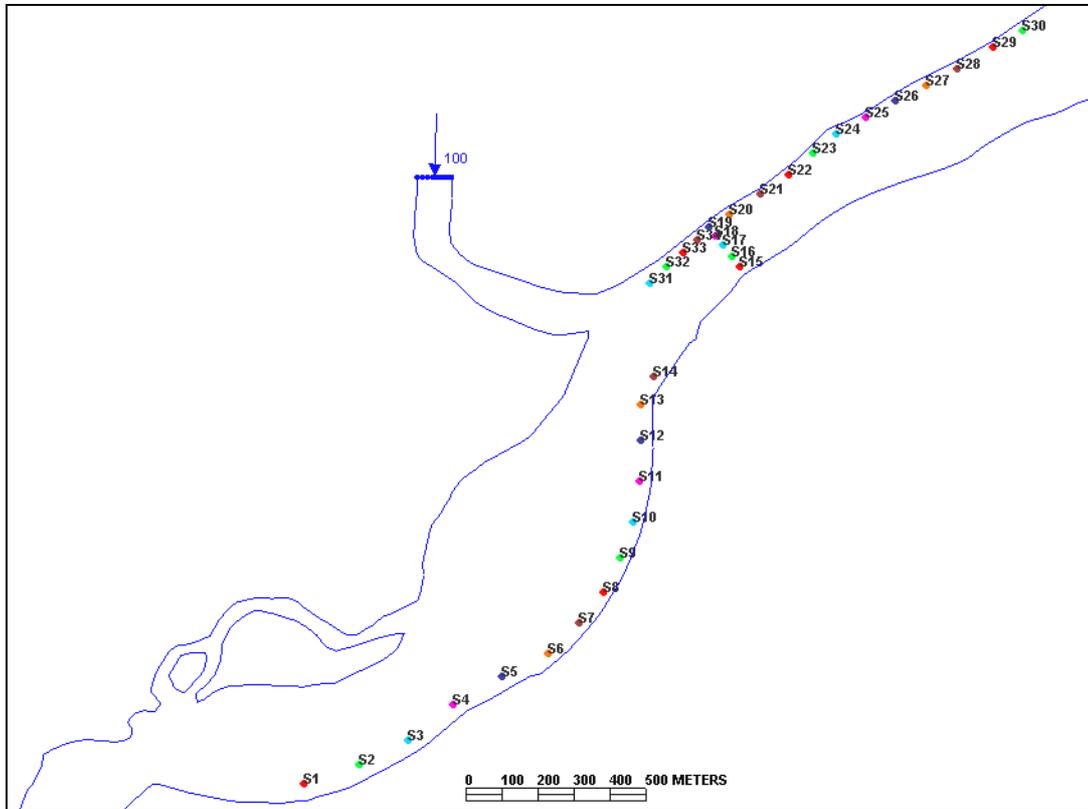
### Kecepatan Arus

Kecepatan yang terjadi pada lokasi tertentu dapat dilihat dengan menempatkan *gage* pengamatan seperti ditunjukkan pada Gambar . Dengan menempatkan *gage* pengamatan tersebut dapat diambil data hasil simulasi untuk semua seri waktu. Beberapa hal yang dilakukan dalam analisa kecepatan arus sungai adalah sebagai berikut :

Untuk mempermudah melihat pengaruh penanganan sungai terhadap kecepatan yang terjadi dibuat grafik hubungan kecepatan dengan lokasi *gage* dari Kampung Pelita sampai dengan Malianu Seberang untuk masing-masing sekenario simulasi serta lokasi di Tanjung Lapang.

Lokasi *gage* pengamatan di Seluwing dan sekitarnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

- S1 s/d S5 adalah *gage* pengamatan di pias sungai sisi kanan sekitar Kampung Pelita.
- S5 s/d S12 adalah *gage* pengamatan di pias sungai sisi kanan sekitar rencana penempatan *revetment* Seluwing.
- S13, S14 dan S31 s/d S34 adalah *gage* pengamatan di pias antara Seluwing dan Jembatan Malinau
- S15 s/d S19 adalah *gage* pengamatan di Jembatan Malinau (tepat di bawah jembatan)
- S20 s/d S30 adalah *gage* pengamatan di hilir Jembatan Malinau

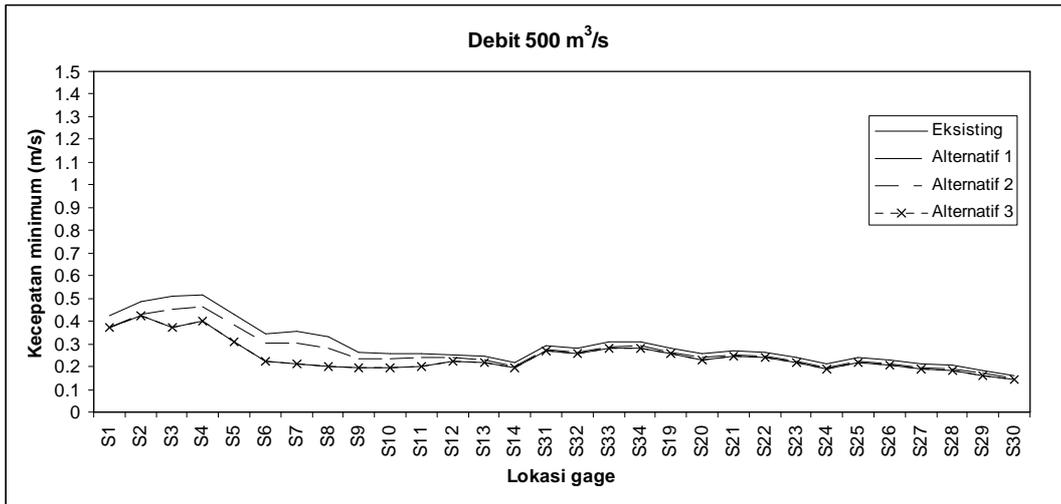


Gambar 6 Penempatan *gage* pengamatan di Seluwing dan sekitarnya

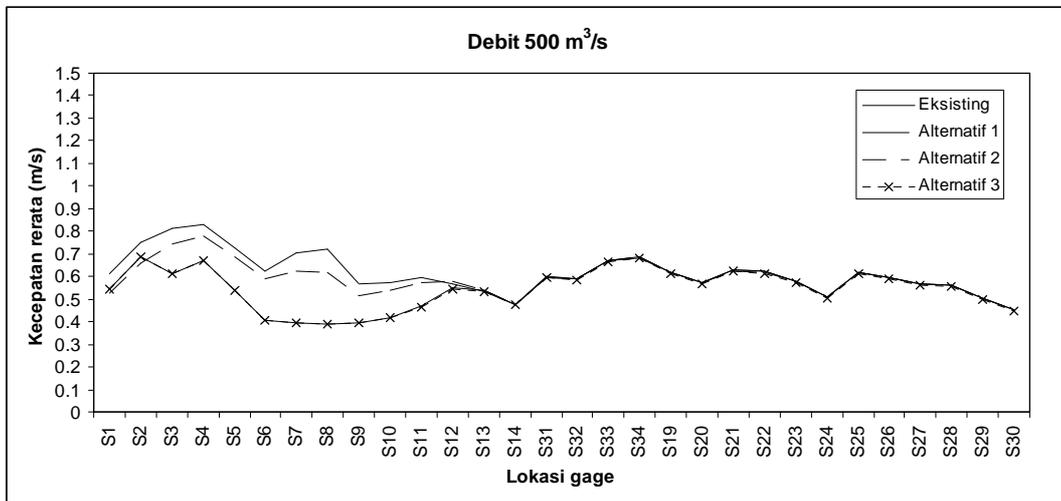
Dikarenakan pengaruh pasang surut maka kecepatan yang terjadi berfluktuasi. Fluktuasi kecepatan arus sungai yang terjadi dari Kampung Pelita sampai dengan Malinau Seberang pada titik-titik yang ditinjau untuk setiap skenario simulasi disajikan dalam gambar 6. Berikut hasil analisa perubahan kecepatan minimum, maksimum dan rerata di Seluwing dan Malinau Seberang serta Tanjung Lapang.

#### **Analisa Kecepatan Arus Seluwing dan Malinau Seberang**

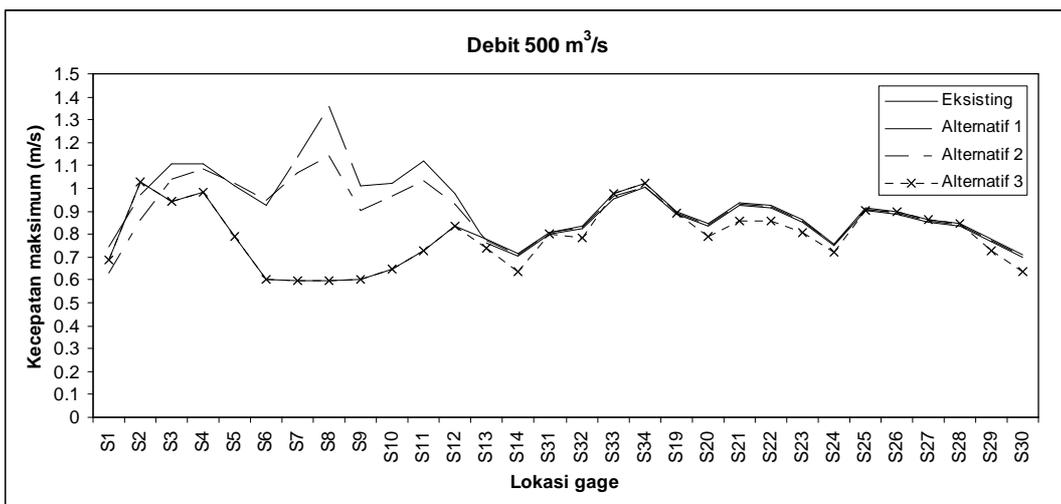
Gambar sampai dengan Gambar adalah hubungan kecepatan (maksimum, minimum dan rerata) simulasi debit 500 m<sup>3</sup>/s.



Gambar 7 Hubungan lokasi dengan kecepatan minimum yang terjadi pada debit 500 m<sup>3</sup>/s

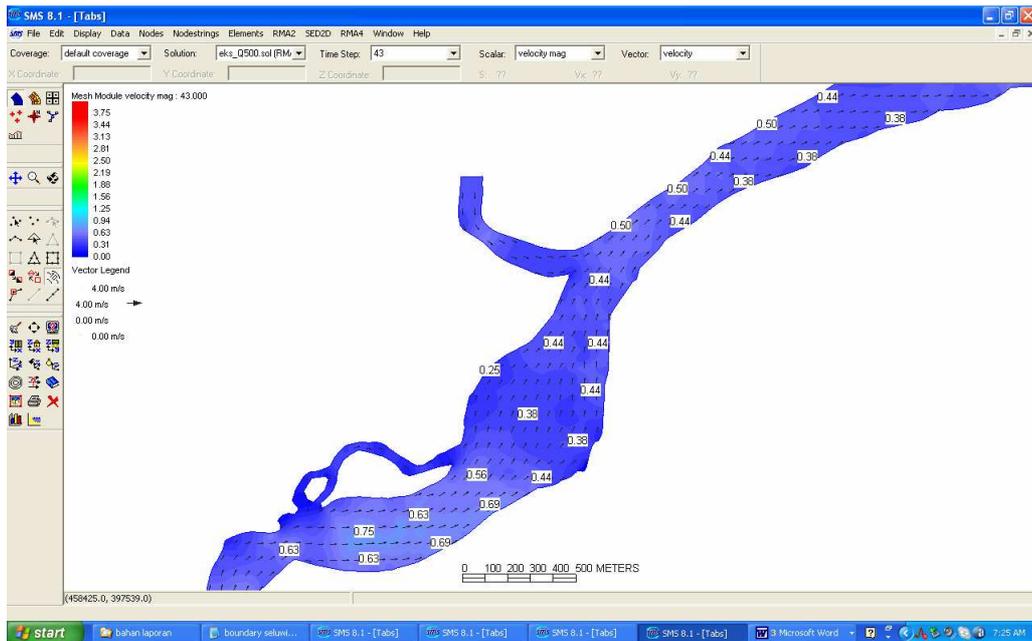


Gambar 8 Hubungan lokasi dengan kecepatan rerata yang terjadi pada debit 500 m<sup>3</sup>/s

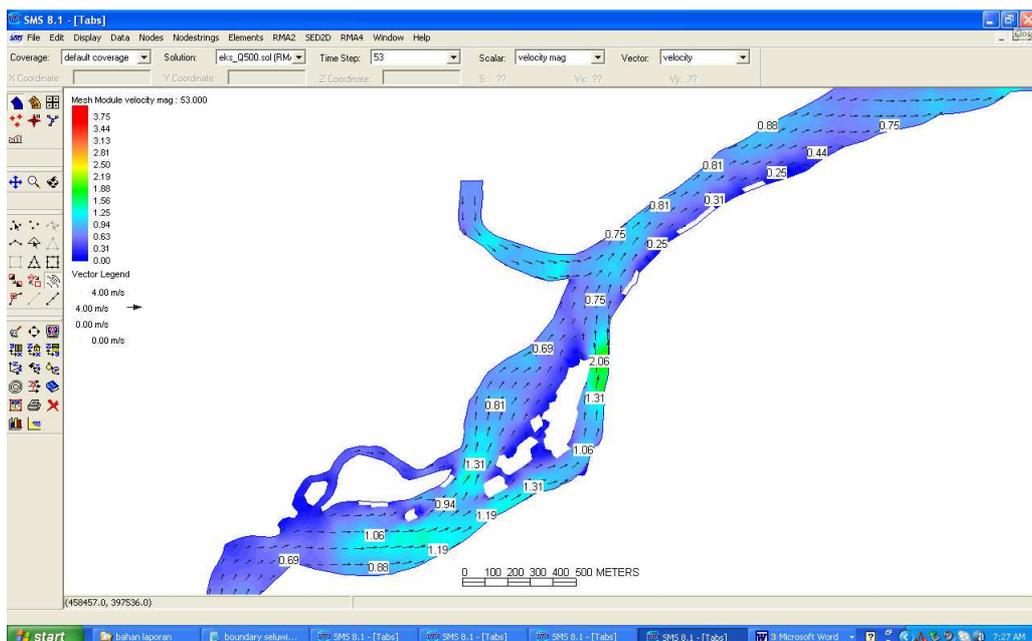


Gambar 9 Hubungan lokasi dengan kecepatan maksimum yang terjadi pada debit 500 m<sup>3</sup>/s

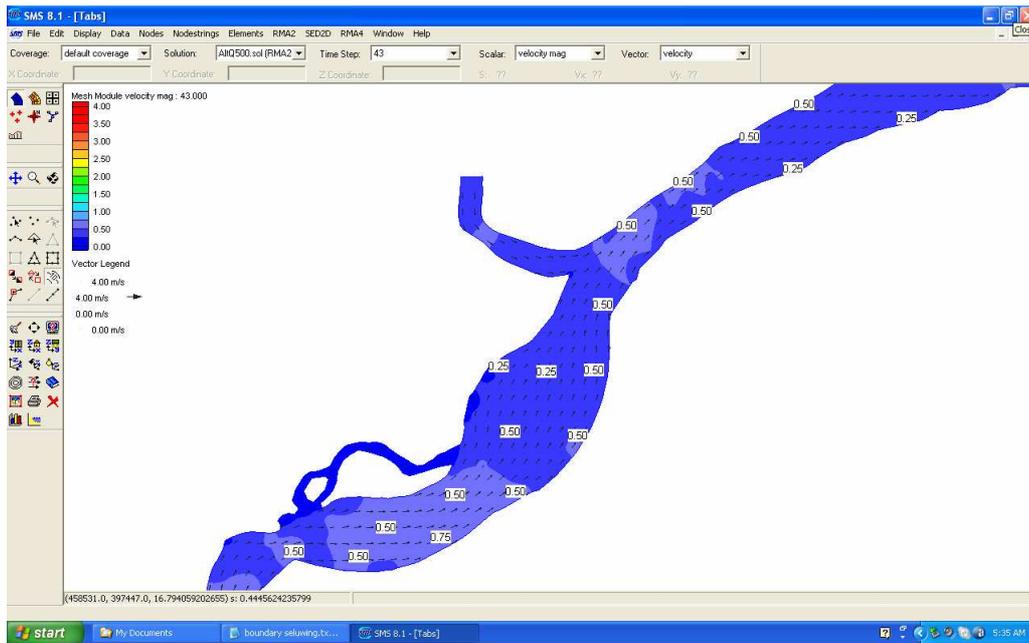
Dari gambar di atas secara kualitatif dapat dilihat bahwa untuk alternatif 1 dan alternatif 2 di area sekitar Kampung Pelita dan Seluwing (S1 s/d S12) penanganan menyebabkan kenaikan kecepatan. Selanjutnya untuk area di hilir Seluwing sampai Malinau Seberang pengaruh penanganan relatif kecil. Untuk Alternatif 3 pengaruh penanganan relatif kecil pada semua tempat bahkan untuk hilir Seluwing kecepatan maksimum cenderung turun. Dengan demikian pada debit 500 m<sup>3</sup>/s secara hidrolika alternatif 3 memberikan efek yang lebih baik dibanding dengan alternatif yang lain.



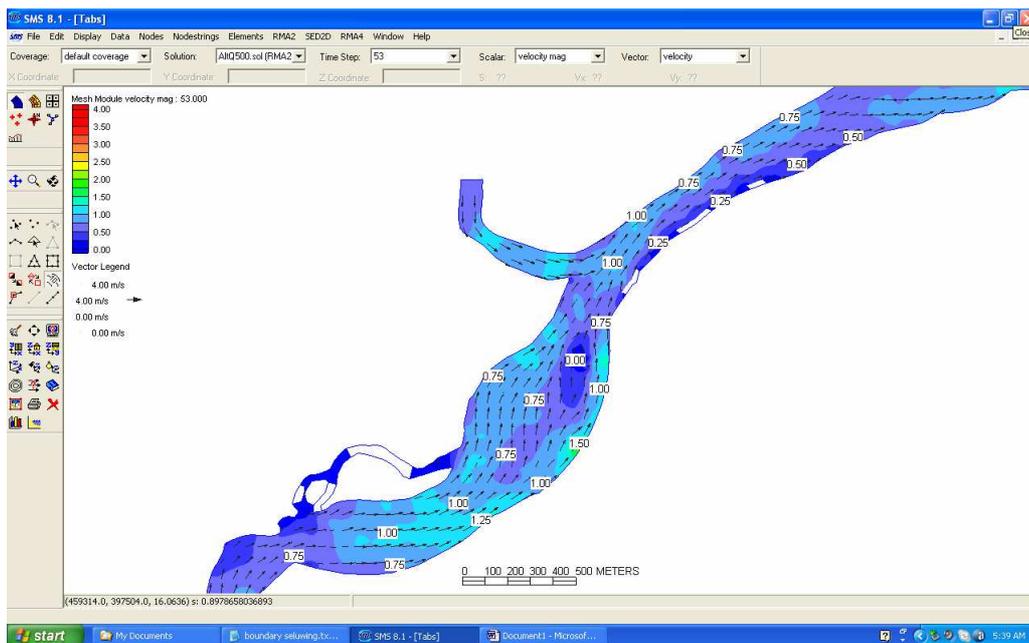
Eksisting Pasang Q 500 m<sup>3</sup>/detik



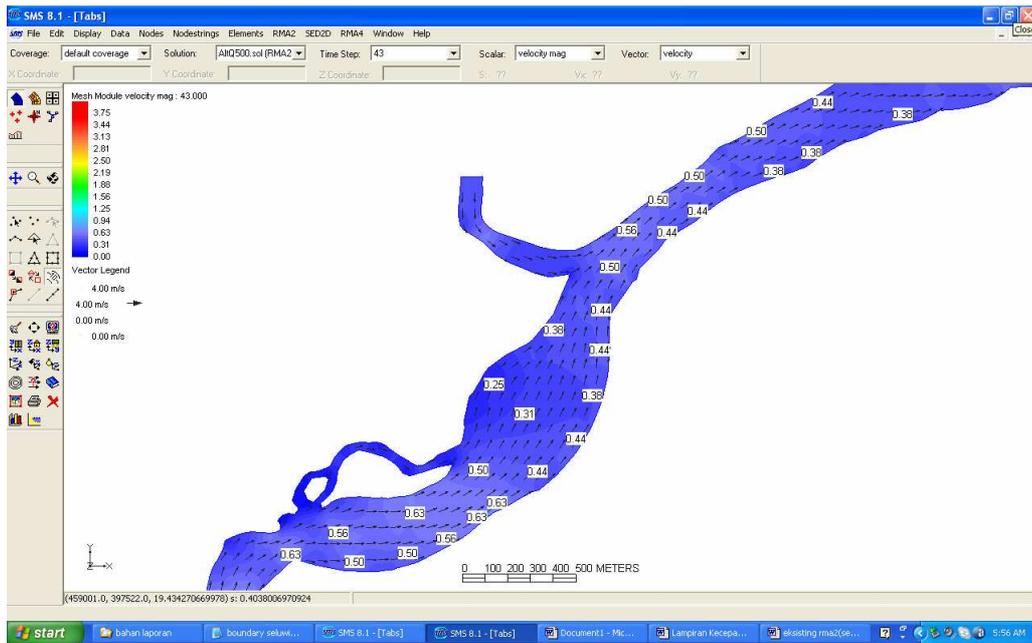
Eksisting Surut Q 500 m<sup>3</sup>/detik



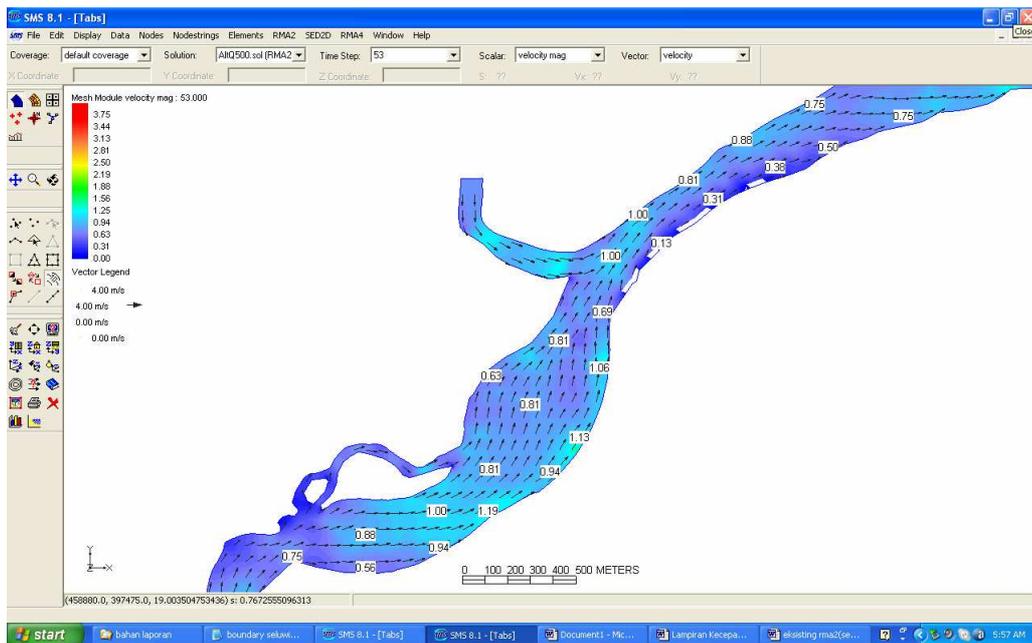
Alternatif 1 Pasang Q 500 m<sup>3</sup>/detik



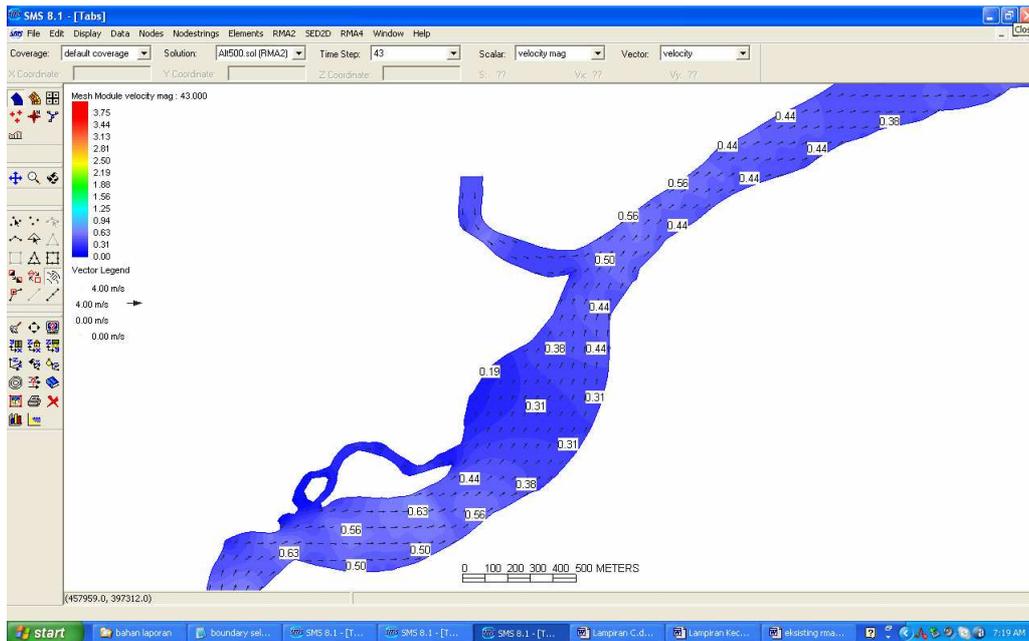
Alternatif 1 Surut Q 500 m<sup>3</sup>/detik



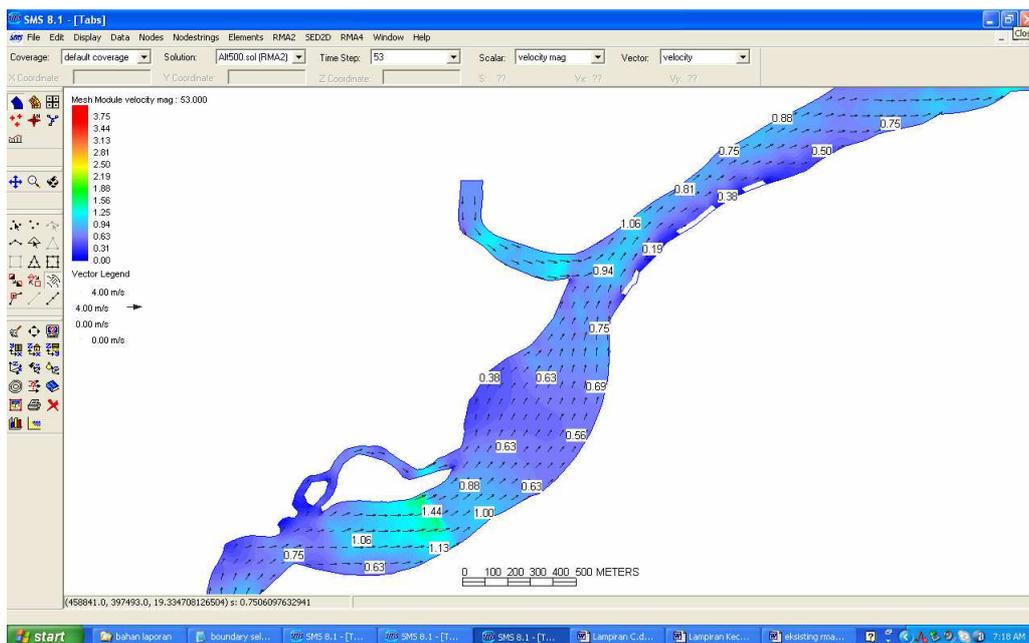
Alternatif 2 Pasang Q 500 m<sup>3</sup>/detik



Alternatif 2 Surut Q 500 m<sup>3</sup>/detik



Alternatif 3 Pasang Q 500 m<sup>3</sup>/detik



Alternatif 3 Surut Q 500 m<sup>3</sup>/detik

## **KESIMPULAN**

Dalam studi ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Model matematik dua dimensi dapat memberikan gambaran yang jelas tentang pengaruh atau kejadian hidrodinamika sungai setelah dan sebelum konstruksi dibangun.
- Dalam studi ini diperoleh alternatif 3 sebagai hasil model yang terbaik dan memberikan efek negatif yang minimum terhadap hidrodinamika aliran sungai.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Coastal Engineering Reseach Center, Department of The Army, *Shore Protection Manual Vol I*, Vicksburg, Mississippi, 1984.

Coastal Engineering Reseach Center, Department of The Army, *Shore Protection Manual Vol II*, Vicksburg, Mississippi, 1984.

Engineering Research and Development Center, US Army of Engineering, *Tutorial Surface Water Modeling System*, August 1998, Washington DC.

Engineering Research and Development Center, US Army of Engineering,  
*A Coastal Surface Water Wave Model of The Mild Slope Equation*, August 1998, Washington DC.

Triatmodjo B, 1999, Teknik Pantai, Beta Offset, Yogyakarta.