

## STUDI PENGARUH PERUBAHAN KEDALAMAN SALURAN TERHADAP PENGELOLAAN SEDIMEN DI SALURAN *BOX CULVERT*

Angela Jasmine Tanya Tjahyana<sup>1</sup>, dan Umboro Lasminto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra Surabaya

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh  
November Surabaya

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya

e-mail : angelaj@petra.ac.id<sup>1</sup>

**Abstract:** The most frequent problem that occurred in a box culvert is sedimentation. Sediments can be transported by changes in the water flow velocity, which can be influenced by changes of depth,  $h$ , of the channel bed. This research studies the change in  $h_1$  to  $h_2 = 1,1 h_1, 1,3 h_1, 1,5 h_1, 1,8 h_1$ , and  $2 h_1$ , by simulation using SSIIM 1 program. The graph of the grain size distribution shows that the sediment consists of 99% of sands and 1% of silt, which its diameter of  $d_{50} = 0.8$  mm and  $d_{90} = 4$  mm. The discharge is  $0.328$  m<sup>3</sup>/s. The results, the deeper of the bed channel changes, the slower the flow velocity. The bed shear stress in changing the bed channel is smaller than the critical bed shear stress, and it makes the sediment stays. Based on the results, the variation of  $h_2 = 1,1 h_1$ , is preferred in sediment management.

**Keywords:** box culvert, flow velocity, sedimentation

**Abstrak:** Permasalahan yang sering terjadi pada saluran *box culvert* adalah pengendapan sedimentasi. Sedimentasi dapat terangkut dengan adanya perubahan kecepatan aliran air, yang dapat dipengaruhi oleh besarnya perubahan kedalaman dasar saluran,  $h$ . Penelitian ini mempelajari perubahan nilai  $h_1$  menjadi  $h_2 = 1,1 h_1, 1,3 h_1, 1,5 h_1, 1,8 h_1$ , dan  $2 h_1$  terhadap sedimentasi, dilakukan dengan bantuan program SSIIM 1. Grafik distribusi ukuran butiran menyatakan sedimen pada *box culvert* adalah 99% mengandung pasir dan 1% lumpur, serta diameter  $d_{50} = 0,8$  mm dan  $d_{90} = 4$  mm. Debit yang digunakan adalah  $0.328$  m<sup>3</sup>/s. Hasil dari perubahan kecepatan alirannya adalah semakin dalam perubahannya, maka kecepatannya semakin rendah pada titik perubahan saluran tersebut. Tegangan geser yang dihasilkan dibagian perubahan saluran adalah lebih rendah daripada tegangan geser kritis sehingga sedimen tidak bergerak. Berdasarkan hasil tegangan geser yang didapatkan, variasi  $h_2 = 1,1 h_1$  adalah variasi yang dapat dipertimbangkan dalam pengelolaan sedimen.

**Kata kunci:** *box culvert*, kecepatan aliran, sedimentasi

### PENDAHULUAN

Pemerintah Kota Surabaya telah melakukan banyak perbaikan saluran drainase perkotaan dengan menggunakan *box culvert*. Permasalahan yang sering terjadi pada *box culvert* adalah pengendapan sedimentasi. Adanya pengendapan sedimentasi di dalam saluran *box culvert* menyebabkan naiknya elevasi dasar saluran sehingga volume tampungan air menjadi berkurang. Hal ini akan mengakibatkan meluapnya air dari saluran *box culvert* karena saluran tersebut telah melebihi kapasitasnya. Idealnya, sedimen yang mengendap di saluran *box culvert* dapat dibersihkan secara berkala sehingga saluran *box culvert* menjadi bersih dari sedimen. Sedangkan

untuk pengambilan sedimentasi pada saluran *box culvert* yang dijadikan sebagai jalan raya lebih sukar daripada sungai terbuka karena dapat mengganggu kegiatan berlalu lintas, terutama pada lalu lintas yang padat.

*Box culvert* yang telah digunakan sebagai jalan raya, telah diberi lubang – lubang sebagai tempat untuk keluar masuknya orang – orang yang melakukan aktifitas pengontrolan *box culvert* secara manual. Lubang – lubang ini dibuat pada tiap jarak tertentu. Akan tetapi, perbandingan antara pengambilan endapan sedimen secara manual tersebut dengan

sedimen yang terendap masih tidak sebanding walaupun pengambilannya telah teratur.

Perubahan kecepatan aliran air dalam sebuah saluran dapat disebabkan karena adanya perubahan kedalaman pada saluran tersebut (Anggrahini, 1997). Anggrahini (1997) mengatakan bahwa persamaan Carnot menyatakan besarnya kehilangan energi di dalam aliran yang mengalami pelebaran tiba-tiba. Pelebaran tersebut dapat terjadi di penampang horizontal maupun di penampang vertikal. Kecepatan aliran air akan bertambah bila menuju ke saluran yang semakin kecil. Sebaliknya, kecepatan aliran air akan berkurang bila menuju ke saluran yang semakin besar. Dalam penelitian ini, kecepatan yang diinginkan adalah kecepatan yang semakin berkurang. Ada 5 variasi perubahan kedalaman yang digunakan, yaitu 1,1, 1,3, 1,5, 1,8, dan 2 kali lipatnya dari kedalaman awal. Perubahan kedalaman ini disimulasikan dengan bantuan program *Simulation of Sediment Movements in Water Intakes with Multiblock Option 1* (SSIIM 1) (Olsen, 2012). Hasil dari simulasi ini diharapkan dapat menganalisis perubahan kecepatan yang terjadi terhadap angkutan sedimen sehingga dapat digunakan sebagai salah satu cara pengelolaan sedimentasi pada saluran *box culvert*.

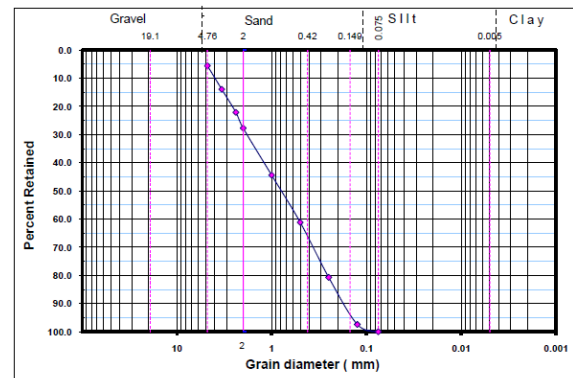
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi butiran sedimen dalam saluran serta untuk mengetahui pengaruh perubahan kecepatan air yang disebabkan oleh perubahan kedalaman saluran terhadap angkutan sedimen pada saluran *box culvert*. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan saran dan masukan kepada pihak – pihak terkait terhadap permasalahan sedimentasi pada saluran *box culvert*, yaitu dengan cara membuat suatu perubahan kedalaman saluran sehingga membuat sedimen yang ada dapat berkumpul di suatu tempat dan dapat diambil dalam skala besar.

Adapun sedimen yang dianalisis hanyalah sedimen *bed load* dan *suspended load* (Graf, 1998), sehingga sampah dan sedimentasi lainnya dianggap telah tertahan oleh saringan saluran. Graf mengatakan berdasarkan klasifikasi angkutan sedimen, seharusnya *wash load* juga termasuk ke dalam angkutan sedimen,

namun karena partikelnya kecil sehingga partikelnya hanya melalui saluran bersama dengan alirannya tanpa menghasilkan endapan dan tidak memerlukan kapasitas transportasi aliran agar dapat membawanya ke tempat keluarnya saluran. Saluran *box culvert* yang digunakan dalam penelitian ini termasuk saluran terbuka karena merupakan aliran tidak penuh (Anggrahini, 1997).

## METODOLOGI PENELITIAN

Setelah melakukan tahap tinjauan pustaka, pengumpulan data yang diambil di lapangan adalah diameter sedimen dan kecepatan aliran yang terjadi pada saluran *box culvert*. Saluran *box culvert* yang diambil sedimennya adalah salah satu dari saluran *box culvert* yang ada di Banyu Urip, di Semolowaru, atau di Menur. Setelah melakukan pengambilan data lapangan, dilakukan kalibrasi. Sampel sedimennya di oven kemudian diayak agar mendapatkan diameter – diameternya, seperti yang terlihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Grafik distribusi ukuran butiran.

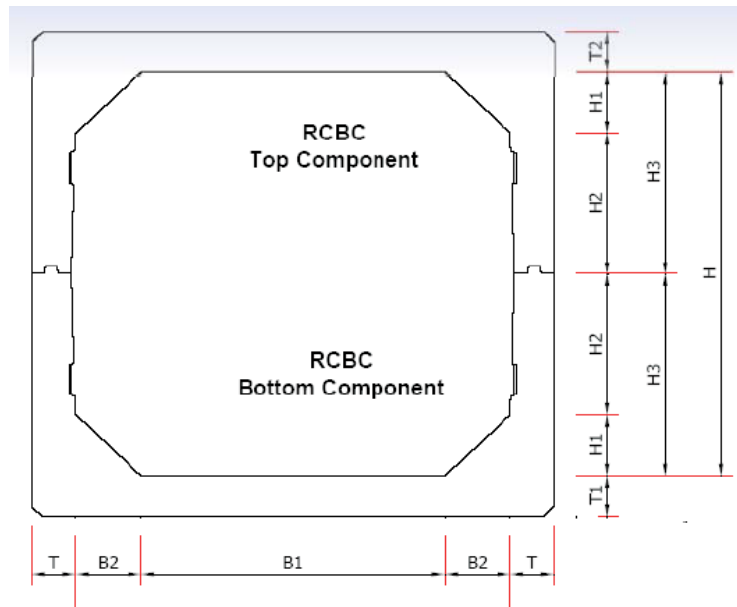
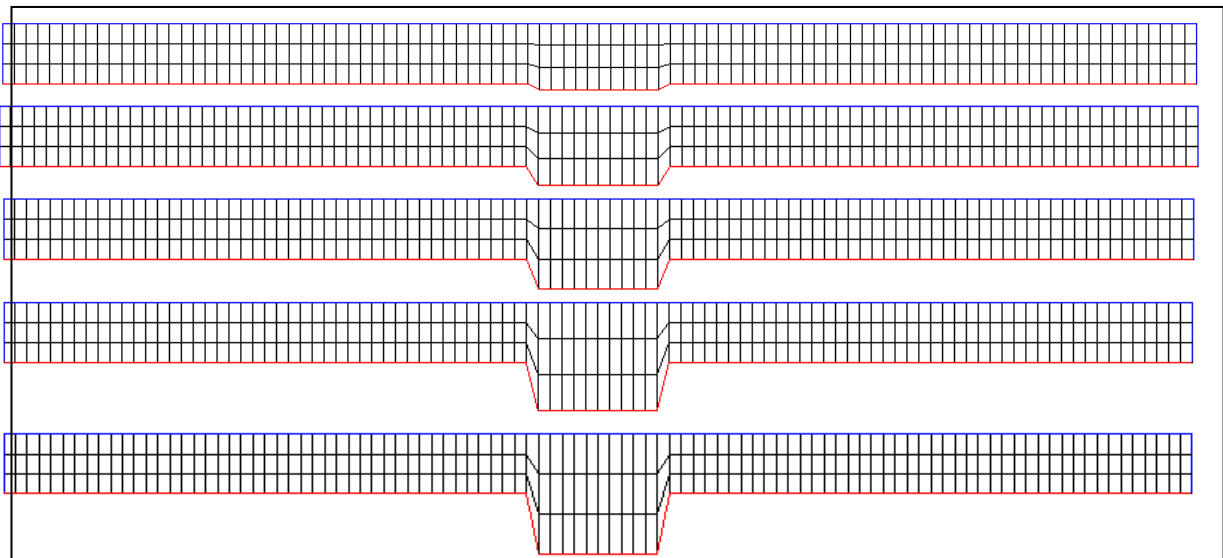
Selanjutnya, dimensi *box culvert* akan dipilih dari salah satu dimensi – dimensi yang ada pada brosur PT. Lisa Concrete seperti yang terlihat pada Tabel 1. Panjang saluran *box culvert* yang disimulasikan adalah 100 meter dan panjang kolam pengendapan sedimen adalah 10 meter, sedangkan debit aliran yang digunakan adalah  $0.328 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Variasi kedalaman saluran *box culvert* pada pemodelan di program SSIIM 1 dapat dilihat pada Gambar 3.

**Tabel 1.** Dimensi saluran *box culvert* PT. Lisa Concrete Indonesia

Product Name	Dimension (mm)											Remarks* (Interval)
	B1	B2	B	H1	H2	H3	H	T	T1	T2	L	
Box 1500/4000	1,200	150	1,500	150	1,850	2,000	4,000	200	200	200	2,400	1000 - 4000
Box 2000/5000	1,400	300	2,000	300	2,200	2,500	5,000	200	200	200	1,200	1000 - 5000
Box 2500/3000	2,200	150	2,500	150	1,350	1,500	3,000	200	200	200	2,000	1500 - 3000
Box 2500/5000	1,900	300	2,500	300	2,200	2,500	5,000	250	250	250	1,200	1500 - 5000
Box 3000/5000	2,400	300	3,000	300	2,200	2,500	5,000	250	250	250	1,200	1500 - 5000
Box 3500/3000	3,200	150	3,500	150	1,350	1,500	3,000	200	200	300	2,000	1500 - 3000
Box 3500/5000	2,900	300	3,500	300	2,200	2,500	5,000	250	250	300	1,200	1500 - 5000
Box 4000/5000	3,400	300	4,000	300	2,200	2,500	5,000	250	250	300	1,200	1500 - 5000
Box 4500/4000	3,900	300	4,500	300	1,700	2,000	4,000	250	250	300	1,200	1500 - 5000
Box 5000/4000	4,400	300	5,000	300	1,700	2,000	4,000	250	250	300	1,200	1500 - 5000

Sumber : Brosur PT. Lisa Concrete Indonesia

**Gambar 2.** Ukuran *box culvert* PT. Lisa Concrete Indonesia**Gambar 3.** Variasi perubahan kedalaman.Dari atas  $h_2 = 1,1h_1$ ,  $h_2 = 1,3h_1$ ,  $h_2 = 1,5h_1$ ,  $h_2 = 1,8h_1$ ,  $h_2 = 2h_1$

Setelah melakukan simulasi pada program SSIIM 1, akan dilakukan analisis diagram terhadap perubahan kecepatan aliran, tegangan geser, dan konsentrasi sedimennya. Untuk analisis kecepatan aliran, akan diperhatikan pola alirannya. Sedangkan untuk analisis tegangan geser, selain diperhatikan pola tegangan gesernya, juga akan dianalisis terhadap tegangan geser kritisnya. Sama halnya terhadap analisis konsentrasi sedimennya, akan diperhatikan pola konsentrasi sedimennya di sepanjang saluran.

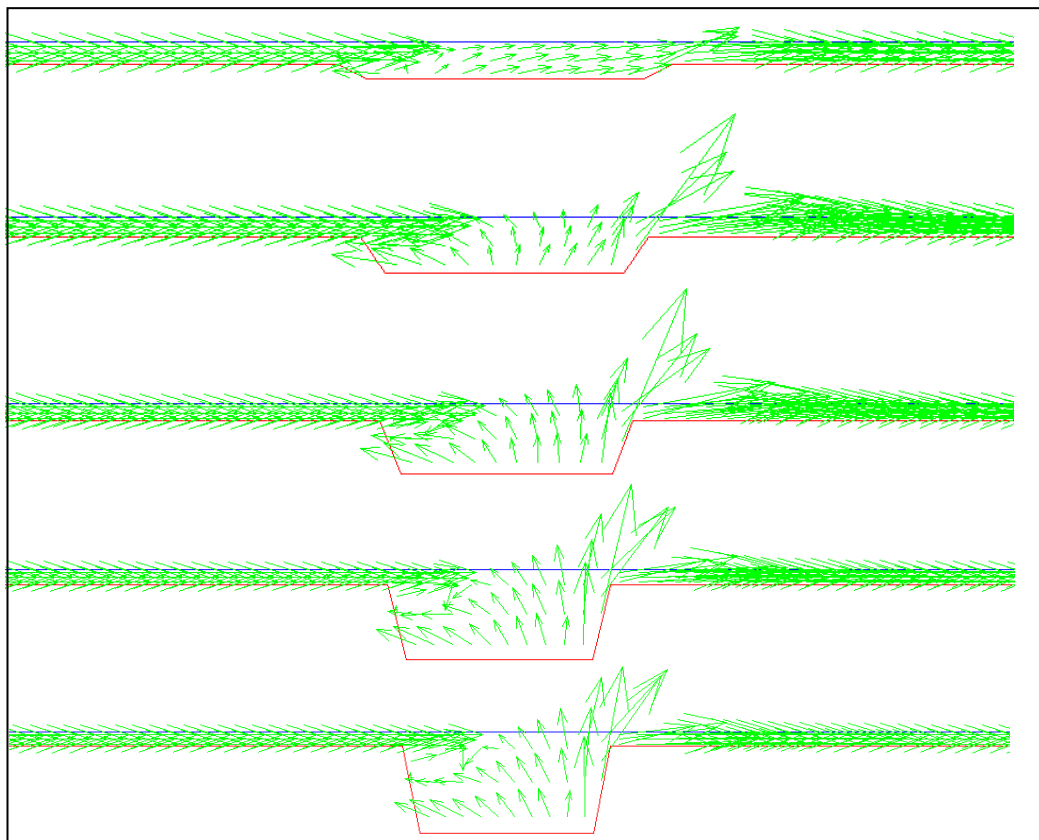
## ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### Analisis Diagram Kecepatan Aliran

Setelah melakukan *running water flow 3D*, maka menghasilkan beberapa diagram kecepatan aliran dari program SSIIM 1, yaitu *Velocity Vectors*, *Horizontal Velocity*, dan *Vertical Velocity*, seperti yang terlihat pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 9.

### *Velocity Vectors*

Diagram *velocity vectors* ini akan menunjukkan aliran air yang diwakili oleh arah tanda panah. Pada Gambar 4, terlihat bahwa pada saat perubahan kedalaman saluran, aliran airnya tiba – tiba seperti terputus, lalu masuk ke dalam perubahan kedalaman, lalu berlanjut kembali setelah melewati perubahan kedalaman saluran. Hal ini disebabkan oleh sifat alami air yang selalu mengalir atau mengisi ke tempat yang lebih rendah dari yang sebelumnya. Setelah aliran air tersebut jatuh ke perubahan kedalaman dan sampai ke dasar saluran, maka aliran airnya naik kembali dan mengikuti aliran air yang menuju ke kedalaman awal, sehingga seperti yang terlihat pada gambar diagram tersebut, di akhir perubahan kedalaman arah aliran menuju kearah atas karena air tersebut telah menabrak dinding pembatas perubahan kedalaman saluran.



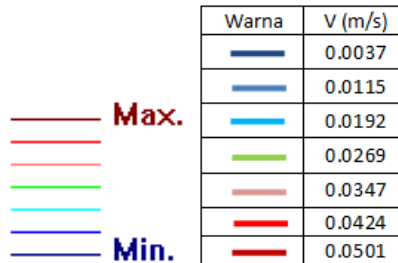
**Gambar 4.** *Velocity vectors.*

Dari atas  $h_2 = 1,1h_1$ ,  $h_2 = 1,3h_1$ ,  $h_2 = 1,5h_1$ ,  $h_2 = 1,8h_1$ ,  $h_2 = 2h_1$

### Horizontal Velocity

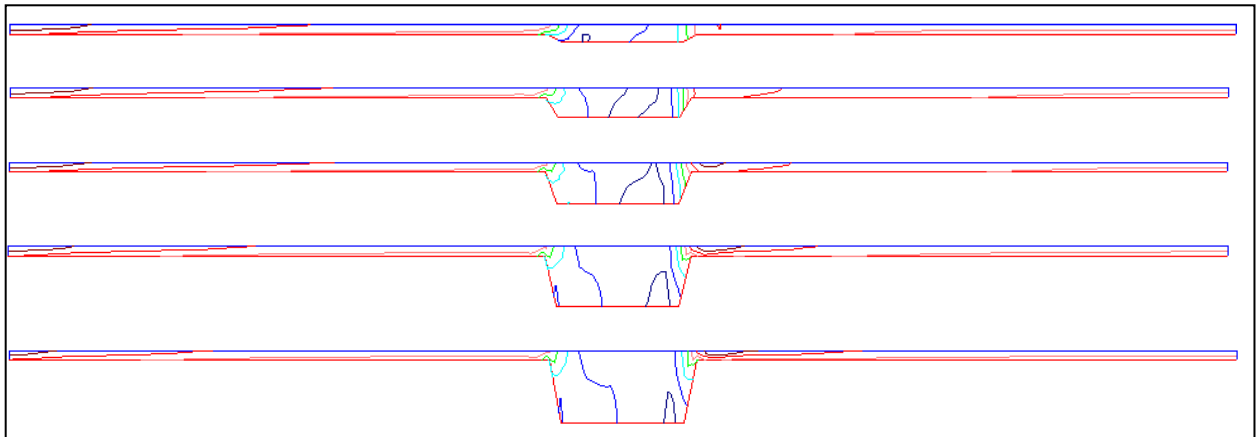
Diagram *horizontal velocity* ini akan menunjukkan kecepatan aliran air secara horizontal yang diwakili oleh warna – warna.

Kecepatan horizontal minimum diwakili warna biru, sedangkan kecepatan horizontal maksimum berwarna merah, seperti yang terlihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Legenda maksimum dan minimum *horizontal velocity*.

Pada Gambar 6. terlihat bahwa kecepatan horizontal minimum selalu berada pada dasar saluran yang mengalami perubahan kedalaman.



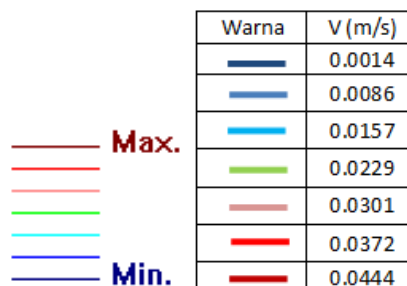
**Gambar 6.** *Horizontal velocity*.

Dari atas  $h_2 = 1,1h_1$ ,  $h_2 = 1,3h_1$ ,  $h_2 = 1,5h_1$ ,  $h_2 = 1,8h_1$ ,  $h_2 = 2h_1$

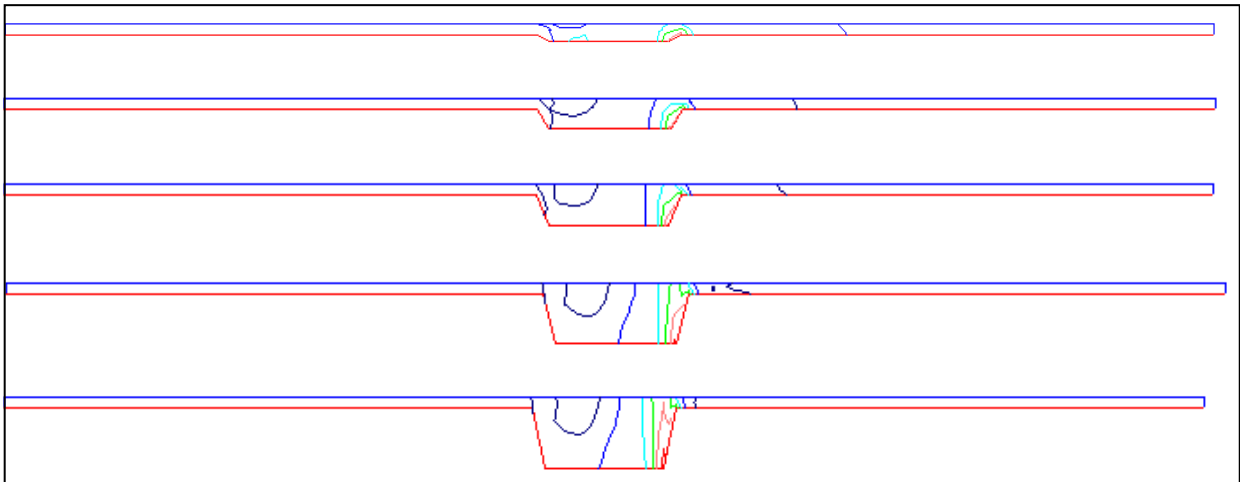
### Vertical Velocity

Diagram *vertical velocity* ini akan menunjukkan kecepatan aliran air secara vertikal yang

diwakili oleh warna–warna. Kecepatan vertikal minimum terlihat dari warna biru, sedangkan kecepatan vertikal maksimum terlihat pada warna merah, seperti terlihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Legenda maksimum dan minimum *vertical velocity*.



**Gambar 8.** *Vertical velocity.*

Dari atas  $h_2 = 1,1h_1$ ,  $h_2 = 1,3h_1$ ,  $h_2 = 1,5h_1$ ,  $h_2 = 1,8h_1$ ,  $h_2 = 2h_1$

Dari Gambar 8, terlihat bahwa kecepatan vertikal minimum selalu berada pada awal saluran yang mengalami perubahan kedalaman, sedangkan kecepatan vertikal maksimumnya selalu berada pada ujung dasar akhir saluran yang mengalami perubahan kedalaman. Semakin dalam perubahan kedalamannya, maka kecepatan aliran air vertikal pada awal masuk dan sesudah melalui perubahan kedalaman saluran menjadi kecepatan vertikal minimum.

#### Analisis Diagram Tegangan Geser

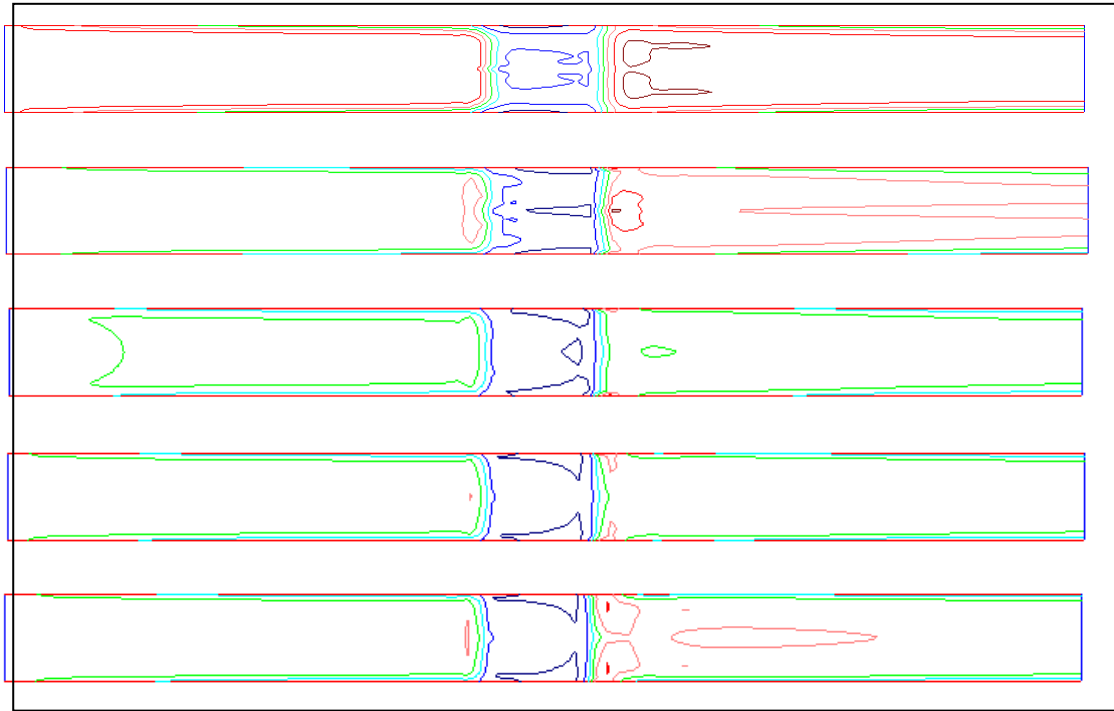
Setelah melakukan *runningwaterflow* 3D, selain mendapatkan diagram kecepatan, juga menghasilkan diagram tegangan geser yang berada pada dasar saluran. Gambar 9, merupakan gambar diagram tegangan geser perubahan kedalaman yang terlihat dari tampak atas, dimana terlihat bahwa tegangan geser minimum selalu berada pada dasar saluran yang mengalami perubahan kedalaman, sedangkan

Sebaliknya, pada Gambar 10, titik – titik biru berada di atas garis merah. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen yang terangkut tidak mengendap atau tetap akan terangkut

tegangan geser maksimumnya berada pada sebelum dan sesudah perubahan kedalaman saluran. Tegangan geser minimum terlihat dari warna biru, sedangkan tegangan geser maksimum terlihat pada warna merah.

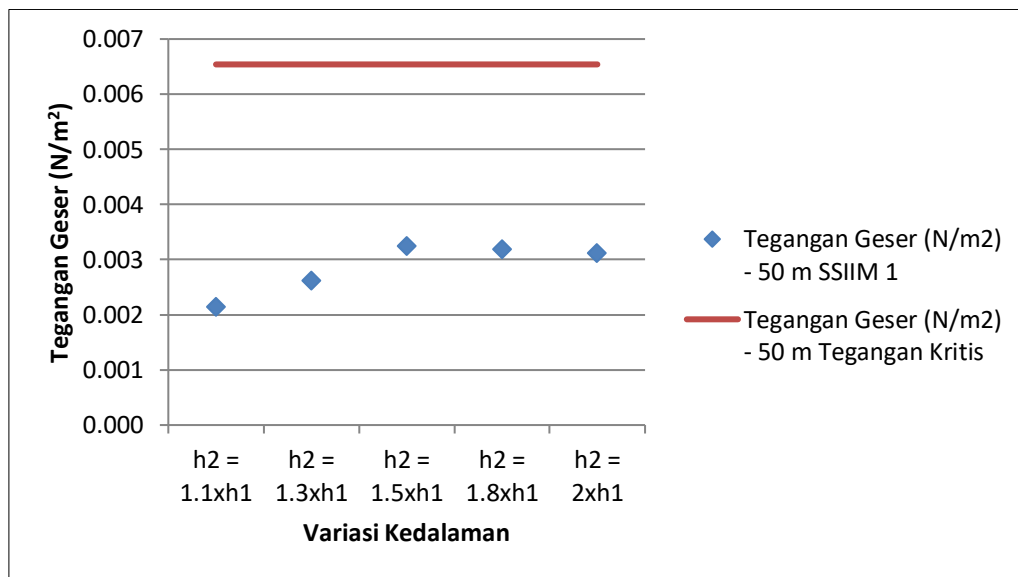
Selanjutnya, hasil dari program SSIIM 1 akan dibandingkan dengan tegangan geser kritisnya,  $\tau_{cr}$ , yang didapatkan dari diagram shields. Bila hasilnya  $\tau_o < \tau_{cr}$ , maka butiran sedimen diam (Berg, 1994). Gambar 9 dan Gambar 10 adalah grafik perbandingan tegangan geser SSIIM 1 dengan tegangan geser kritis di titik 50 m dan 70 m saluran. Tegangan geser kritis diwakilkan dengan garis merah, sedangkan tegangan geser yang terjadi diwakilkan dengan titik – titik biru. Titik – titik biru pada Gambar 9 berada di bawah garis merah. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen yang terangkut adalah tidak bergerak atau mengendap karena tegangan geser kritis lebih besar daripada tegangan geser yang terjadi.

dalam aliran air karena tegangan geser kritis lebih kecil daripada tegangan geser yang terjadi (Olsen, 1999).

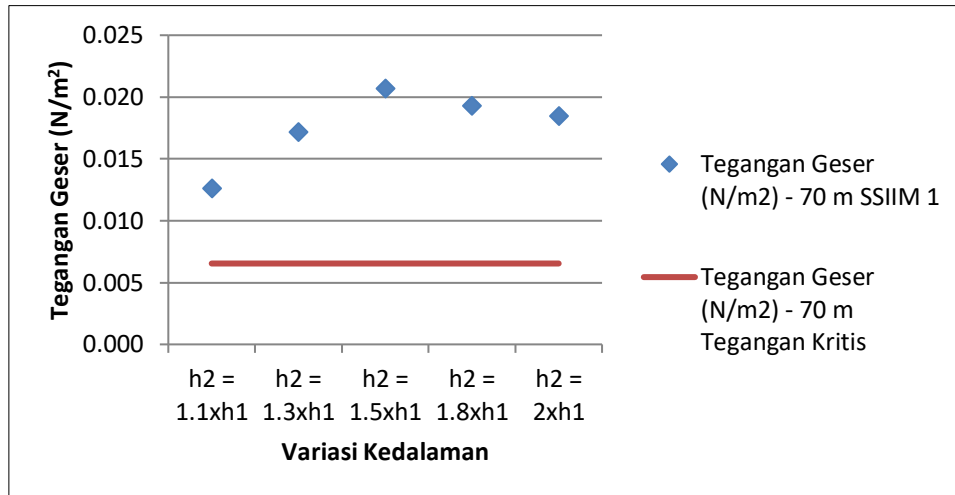


**Gambar 9.** Tegangan Geser.

Dari atas  $h_2 = 1,1h_1$ ,  $h_2 = 1,3h_1$ ,  $h_2 = 1,5h_1$ ,  $h_2 = 1,8h_1$ ,  $h_2 = 2h_1$



**Gambar 10.** Grafik perbandingan tegangan geser SSIIM 1 pada titik 50 m dengan tegangan geser kritis.



**Gambar 11.** Grafik perbandingan tegangan geser SSIIM 1 pada titik 70 m dengan tegangan geser kritis.

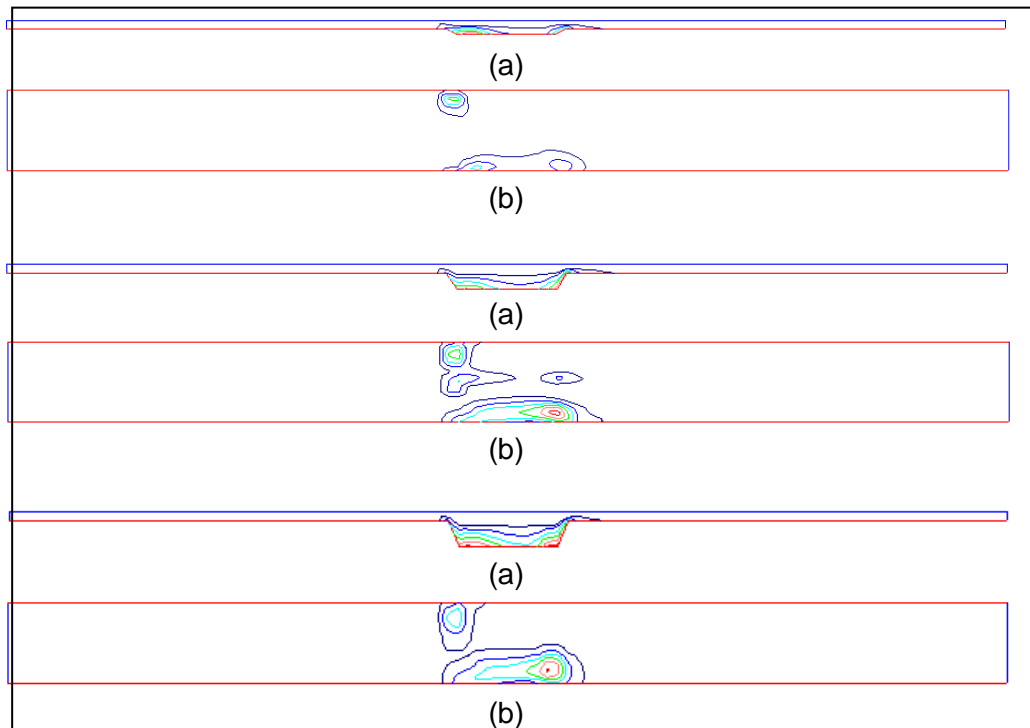
#### Analisis Diagram Konsentrasi Sedimen dari Program SSIIM 1

Setelah melakukan *runningwaterflow* 3D, data diameter sedimen  $d_{50}$  dan  $d_{90}$  beserta

kecepatan jatuhnya dimasukkan ke dalam program. Setelah dimasukkan, dilakukan *running sediment*, maka menghasilkan diagram konsentrasi sedimen dari program, seperti yang terlihat pada Gambar 13.

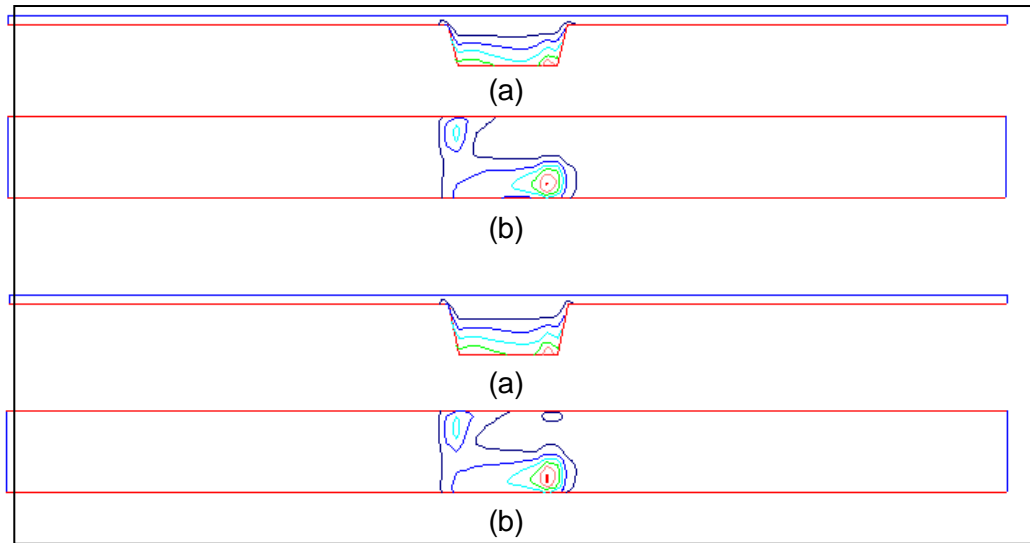


**Gambar 12.** Legenda warna konsentrasi sedimen



**Gambar 13.** Konsentrasi sedimen: (a) *longitudinal view*, (b) *topview* (bersambung)





**Gambar 14.** Konsentrasi sedimen: (a) *longitudinal view*, (b) *topview* (lanjutan)

Dari atas  $h_2 = 1,1h_1$ ,  $h_2 = 1,3h_1$ ,  $h_2 = 1,5h_1$ ,  $h_2 = 1,8h_1$ ,  $h_2 = 2h_1$

Dari Gambar 13, terlihat untuk semua variasi, konsentrasi sedimennya berkumpul di perubahan lebar saluran. Hal ini dapat membuktikan penjelasan dari Anggrahini (1997) yang menyatakan bahwa adanya kehilangan energi di dalam aliran yang mengalami pelebaran tiba-tiba, sehingga pada hasil yang terlihat di Gambar 11, sedimennya akan banyak terendap atau tinggal di daerah arsir atau di perubahan lebar saluran.

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Karakter butiran sedimentasi yang dipakai dalam simulasi terdiri dari 99% pasir dan 1% lumpur.
2. Dari grafik distribusi ukuran butiran, didapatkan nilai  $d_{50} = 0.8 \text{ mm}$ , dan  $d_{90} = 4 \text{ mm}$ .
3. Kecepatan aliran hasil simulasi memberikan pola semakin dalam perubahan kedalaman saluran, semakin rendah kecepatan aliran yang terjadi.
4. Tegangan geser yang terjadi di titik 50 m berada di bawah atau lebih kecil daripada tegangan geser kritis. Hal ini membuktikan bahwa pada posisi tersebut, sedimen akan diam atau tidak bergerak dan mengendap. Sedangkan Tegangan geser yang terjadi di titik 70 m berada di atas atau lebih besar daripada tegangan geser kritis. Hal ini

membuktikan bahwa pada posisi tersebut, sedimen akan bergerak.

5. Tegangan geser minimum yang terjadi pada titik 50 m dimiliki oleh variasi  $h_2 = 1.1h_1$ . Oleh karena itu, pada variasi inilah yang dapat dipertimbangkan dalam pengelolaan sedimentasi pada saluran *box culvert*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahini. (1997). *Hidrolika Saluran Terbuka*, Citra Media, Surabaya.
- Berg, J. van den and Vries, M.de. (1994). *Principles of River Engineering, The non-tidal alluvial river*, Eds. P Ph Jansen, L van Bendegom, J can den Berg, M de Vries, A Zanen, Netherlands.
- Graf, Walter H. and Altinakar, M.S. (1998). *Fluvial Hydraulics Flow and Transport Processes in Channels of Simple Geometry*, John Wiley & Sons, New York.
- Olsen, Nils Reidar B. (1999). *Computational Fluid Dynamics in Hydraulics and Sedimentation Engineering*, Department of Hydraulic and Environmental Engineering The Norwegian University of Science and Technology, Norwegian.
- Olsen, Nils Reidar B. (2012). *A Three-Dimensional Numerical Model for Simulation of Sediment Movement in Water Intakes with Multiblock Option*, Department of Hydraulic and Environmental Engineering The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.