

## KAJIAN OPTIMASI DESAIN SALURAN DALAM RANGKA PENGENDALIAN BANJIR DI CITARUM HULU

### THE STUDY OF CHANNELS DESIGN OPTIMIZATION IN ORDER TO CONTROL FLOODING IN THE UPPER CITARUM

Dessy Rosliani<sup>1)</sup>, James Zulfan<sup>2)</sup>, Yiniarti Eka Kumala<sup>3)</sup>

<sup>1),2),3)</sup>Balai Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan  
Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air  
Jl. Ir.H Juanda no.193, Bandung

Diserahkan: 22 Februari 2013 ; Diterima: 16 Juni 2013

#### ABSTRAK

DAS sungai Citarum bagian hulu mengalami perubahan tata guna lahan di daerah tangkapan sungai utama maupun anak-anak sungai, selain itu juga di beberapa lokasi telah terjadi penurunan lahan (*landsubsidence*) sebesar 0,1 – 0,6 meter dari tahun 2009 sampai 2012. Selain itu terjadi laju sedimentasi yang tinggi sehingga sungai saat ini sudah tidak mampu mengalirkan debit banjir 5 tahunan. Hal tersebut berdampak pada besarnya banjir saat musim hujan dan musim kemarau yang ditandai dengan semakin menurunnya muka air tanah. Salah satu alternatif penanggulangan yang ada saat ini adalah melakukan normalisasi dan penyesuaian saluran sungai ke saluran tunggal (*single channel*) atau saluran ganda (*compound channel*) untuk meningkatkan kapasitas sungai. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kondisi hidraulik dari kedua saluran tersebut melalui simulasi pemodelan numerik satu dimensi menggunakan program Mike11. Analisis ini menggunakan data topografi, data debit, data laju angkutan sedimen hasil pengukuran dan data hasil pemantauan penurunan lahan di lapangan. Kalibrasi juga penting dilakukan untuk memverifikasi keakuratan hasil pengukuran di lapangan, agar keluaran dari perangkat lunak sesuai dengan besaran yang sebenarnya. Berdasarkan hasil pemodelan ini terlihat bahwa kedua saluran mampu meningkatkan kapasitas tampungan sungai, namun dilihat dari pola sedimentasinya saluran ganda memiliki pengaruh sedimentasi yang lebih kecil daripada saluran tunggal sehingga disarankan untuk menggunakan saluran ganda. Hasil pemodelan tersebut dapat dijadikan rekomendasi untuk pengelolaan sungai Citarum.

**Kata kunci :** Citarum hulu, pemodelan numerik, saluran tunggal, sedimentasi, pengendalian banjir

#### ABSTRACT

Upper Citarum catchment area experience land use changes in the main river and tributaries, furthermore in some locations there are also land subsidence of 0.1 to 0.6 meters from 2009 to 2012. Also there are high rate of sedimentation which caused the river channel unable to drain the 5-year flood discharge. This condition affects the amount of flood during the rainy season and the dry season which is marked by the decline of groundwater level. One of the alternative solution currently available are normalization and adjustment of the river channel into single channel or compound channel. This study was conducted to analyze the hydraulic and sedimentation conditions of those two channels through one-dimensional simulation numerical model using MIKE 11 software. This analysis use topographic data, discharges data, and field data. The calibration is also important to verify the accuracy of the measurement results in the field, so that the output from the software in appropriate with the actual data. Based on the simulation result, it can be inferred that both of channels can increase river capacity, however the sedimentation result shows that the compound channel has a less impact of sedimentation than the single channel. This modeling result can be used as one of the alternative recommendation for the management of Citarum river.

**Keywords :** Upper Citarum, numerical modelling, single channel, sedimentation, flood control

## PENDAHULUAN

Dari data tahunan dan hasil - hasil penelitian Kementerian Pekerjaan Umum, Ditjen SDA dan Pusat Litbang SDA dari tahun 2007 hingga tahun 2012, disinyalir kecenderungan perubahan tata guna lahan di daerah tangkapan sungai terdapat pada hampir semua sungai di Indonesia, hal ini membawa dampak yang cukup besar terhadap perubahan perilaku sungai. Perubahan perilaku sungai tersebut sangat terlihat dengan berubahnya pola debit aliran sepanjang tahun, dengan semakin besarnya debit yang datang pada musim penghujan dan semakin kecilnya debit sungai pada musim kemarau. Selain itu, laju sedimentasi di sepanjang alur sungai juga semakin besar. Hal tersebut diatas juga terjadi pada DAS sungai Citarum dimana perubahan perilaku tersebut membawa dampak yang merugikan pada sungai Citarum seperti kejadian banjir pada saat hujan semakin besar, kekeringan saat kemarau, dan pola pemeliharaan di lingkungan sungai yang semakin mahal. Evaluasi terhadap perubahan perilaku sungai tersebut di atas perlu dilakukan dalam pengelolaan sumber daya air secara umum. Salah satu alternatif penanganan banjir yang direkomendasikan dalam penelitian ini adalah pemilihan penggunaan saluran tunggal (*single channel*) atau saluran ganda (*compound channel*) untuk melihat perubahan respon morfologi sungai. Saat ini sudah banyak dikembangkan piranti lunak (*software*) baik satu dimensi maupun dua dimensi yang dapat digunakan sebagai alat bantu dalam evaluasi pengelolaan sumber daya air dengan simulasi pemodelan numerik. Dengan menggunakan piranti lunak (*software*) tersebut dampak perubahan DAS suatu sungai pada waktu-waktu yang akan datang terhadap perilaku banjir dan sedimentasi juga dapat diperkirakan, termasuk perkiraan perambatan banjir dari satu tempat ke tempat yang lain sesuai dengan kondisi topografi sepanjang alur sungai dan hujan yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi hidraulik dan sedimentasi dari saluran tunggal dan saluran ganda dengan menggunakan program Mike11 dimana melalui pemodelan saluran ini maka respon perubahan morfologi sungai terhadap banjir dan sedimentasi dapat terlihat.

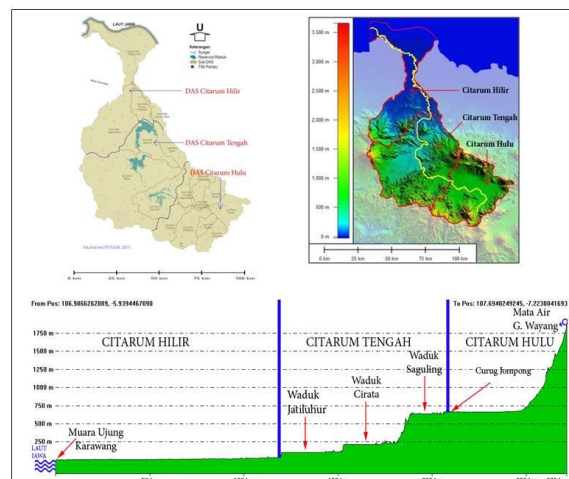
## TINJAUAN PUSTAKA

### Pembagian Wilayah dan Profil Sungai Citarum

Pembagian wilayah geologi Sungai Citarum pada penelitian ini didasarkan pada pola pengelolaan wilayah DAS Citarum, yaitu dari mata

air di Gunung Wayang hingga Curug Jompong (hulu Bendungan Saguling) sebagai wilayah hulu.

Secara umum profil Sungai Citarum berawal dari mata air di Gunung Wayang dengan ketinggian lebih dari +1750 meter di atas permukaan laut dan berakhir di muara atau Laut Jawa. Kelerengan curam dapat dijumpai pada Sungai Citarum Hulu dari mata air sampai perbatasan Dataran Bandung, dilanjutkan dengan profil yang landai sepanjang Dataran Tinggi Bandung sampai Curug Jompong dan Bendungan Saguling. Profil dan pembagian wilayah DAS Citarum dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1** Pembagian Wilayah dan Profil Sungai Citarum (Iskandar, 2011).

### Pemodelan Numerik Sungai

Pemodelan numerik sungai dimaksudkan untuk mengetahui:

1. karakteristik sistem sungai dan respon sungai terhadap skenario pengendalian/pengamanan sungai,
2. ruas-ruas sungai yang mempunyai kecenderungan terjadinya longsor/gerusan dan menimbulkan kerugian pada masyarakat,
3. usulan bangunan pengendali dan pengaman sungai (lokasi dan desain detail).

Prinsip dasar pemodelan numerik tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

Persamaan untuk bagian hidrodinamik adalah persamaan kontinuitas air:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b \frac{\partial h}{\partial t} = q$$

Keterangan :

$Q$ , debit sungai [ m<sup>3</sup>/s ]

$b$ , lebar sungai [ m ]

$H$ , kedalaman air [ m ]

$\Delta x$ , langkah jarak [ m ]

$\Delta t$ , langkah waktu [ s ]

$Q$ , debit aliran lateral [m<sup>3</sup>/m]

Persamaan momentum:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\beta Q^2}{A} \right] + gA \frac{\partial h}{\partial x} - gAS_f = 0$$

Keterangan :

$A$ , luas penampang basah [ m<sup>2</sup> ]

$\beta$ , koefisien Bousinesq [ - ]

$S_f$ , kemiringan energi :

$K$ , kapasitas pengaliran yang dihitung berdasarkan persamaan Manning [m<sup>3</sup>/s]

$R$ , hidraulik radius [ m ]

$P$ , keliling basah [ m ]

$N$ , koefisien Manning [m<sup>1/3</sup>/s ]

Persamaan kontinuitas sedimen:

$$(1 - p)W \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial G}{\partial x} = 0$$

Keterangan :

$P$ , porositas material dasar sungai

$W$ , lebar dasar sungai yang aktif mengalami degradasi dan aggradasi [ m ]

$Z$ , elevasi dasar sungai [ m ]

$G$ , laju angkutan sedimen [ m/s ]

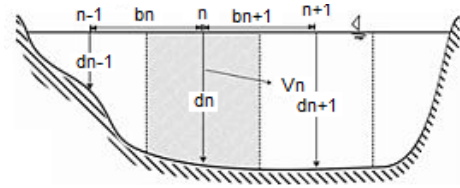
Laju angkutan sedimen dapat diperkirakan berdasarkan lima alternatif persamaan berikut:

1. Engelund-Hansen,
2. Ackers-White,
3. Engelund-Fredsoe,
4. Van Rijn, dan
5. Smart-Jaeggi.

Di dalam persamaan-persamaan tersebut terdapat parameter-parameter yang dapat dikalibrasi, agar model menunjukkan unjuk kerja sesuai dengan kondisi lapangan.

### Analisis Debit Aliran Sesaat Sungai (Q)

Perhitungan nilai debit aliran (Q) terdiri atas beberapa metode, salah satunya adalah Cara Irisan Tengah (*Mid Section Method*) seperti ilustrasi yang terlihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2** Gambar melintang sungai untuk menghitung debit sesuai *mid section method*

Cara menghitung debit (Q) dan debit seksi

(q):

$$a_n = \frac{b_n + b_{n+1}}{2} \times d_n$$

$$q_n = a_n \times V_{n+1}$$

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i$$

$Q_n$ , debit seksi ke-n

$Q_i$ , debit tiap seksi ke-i

$a_n$ , luas seksi ke-n

$\bar{V}_n$ , kecepatan air rata-rata pada seksi yang bersangkutan (ke-n)

$\bar{V}_{n+1}$ , kecepatan rata-rata pada kedalaman  $d_{n+1}$

$Q$ , debit sungai

### 1 Konsentrasi Sedimen dan Gradasi Butiran

Konsentrasi sedimen dan gradasi butiran material dasar dianalisis di laboratorium mekanika tanah. Pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan data sebagai berikut :

- a. konsentrasi muatan sedimen melayang yang terangkut pada aliran sungai; dan
- b. jenis material dan gradasi butiran material dasar sungai.

Seluruh pengujian dilakukan dengan prosedur pengujian yang mengacu pada SNI (Standar Nasional Indonesia) yang terkait.

### 2 Korelasi Antara Muka Air dan Debit

Korelasi ini dibuat berdasarkan data pengukuran besar aliran pada suatu tempat. Untuk hasil yang baik, diperlukan adanya data pengukuran besar aliran pada saat muka air rendah, sedang sampai tinggi. Pembuatan grafik korelasi ini sendiri dengan menggunakan cara logaritmik. Pada umumnya grafik korelasinya berbentuk parabolik dan dapat dinyatakan dalam bentuk rumus:

$$Q = p \times H^n$$

Keterangan :

$Q$ , debit (m<sup>3</sup>/s)

$H$ , tinggi muka air (m)

$p, n$ , konstanta

Apabila persamaan tersebut dilogaritmakan maka persamaan akan berbentuk linier:

$$\text{Log } Q = \log p + n \log H$$

dimana  $n$  adalah kemiringan dari grafik persamaan tersebut dan  $Q$  adalah debit pada perpotongan grafik persamaan tadi dengan sumbu.

## METODOLOGI

Metode yang diterapkan dalam pelaksanaan kegiatan ini, antara lain:

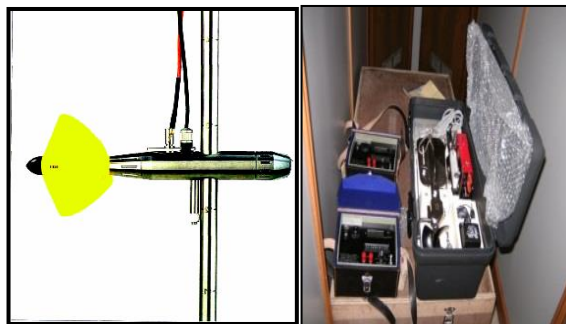
- 1 Pengumpulan data pelengkap berupa data sekunder dari instansi-instansi terkait, hasil pengukuran lapangan dan hasil-hasil penelitian Sungai Citarum oleh Pusat Litbang SDA.
- 2 Pemantauan penurunan lahan, dilakukan dengan cara mengikat/mengukur data koordinat dan elevasi patok-patok tetap yang terpasang di sepanjang alur sungai seperti disajikan pada Gambar 3. Pemantauan ini dilakukan untuk mengetahui kecenderungan perubahan/penurunan elevasi tanggul dan badan sungai dari Sapan sampai Nanjung. Perubahan/penurunan elevasi yang terjadi tentu akan berpengaruh terhadap potensi genangan yang terjadi. Selain itu juga akan berpengaruh terhadap umur layan bangunan air yang ada. Pengukuran penurunan lahan telah dilakukan di tiga titik di Sungai Citarum Hulu. Alat yang digunakan untuk membantu pengukuran ini adalah RTK (*Real Time Kinematic*).



Gambar 3 Pemantauan dengan RTK di Sapan

- 3 Pengukuran debit dan angkutan sedimen, hal ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran parameter laju angkutan sedimen yang ada di Sungai Citarum sesuai dengan debit yang terjadi. Alat yang digunakan pada kegiatan pengukuran kecepatan aliran ini adalah *currentmeter* tipe baling-baling. Dengan menggunakan *currentmeter*, pengukuran

kecepatan aliran tidak hanya di permukaan saja tetapi pada kedalaman yang dikehendaki pada penampang sungai. Alat *currentmeter* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Currentmeter

Pengukuran kecepatan aliran, pengambilan material dasar (*bed material*) dan sedimen layang (*suspended load*) dilaksanakan pada 3 (tiga) titik lokasi yang sama. Di setiap lokasi, paling sedikit diukur pada 3 (tiga) titik melintang sungai dengan beberapa titik kedalaman ( $H$ ), yaitu  $0,2H$ ;  $0,6H$  dan  $0,8H$ . Pengukuran distribusi kecepatan dilakukan guna mengetahui distribusi kecepatan arus yang terjadi pada potongan melintang profil sungai di lokasi yang bersangkutan juga untuk mendapatkan profil kecepatan di setiap vertikal titik tersebut. Selain itu juga dilakukan kegiatan pengambilan sedimen layang, contoh air dan material dasar. Lokasi pengambilan sedimen layang (*suspended load*) dilakukan di tempat yang sama dengan pengukuran kecepatan aliran seperti pada Gambar 5. Demikian juga dengan lokasi pengambilan material dasar (*bed material*). Alat yang digunakan untuk pengambilan material dasar adalah *Bottom Grab*. Jumlah sampel material dasar yang diambil minimal adalah dua, yaitu satu untuk mewakili sisi kiri dan satu untuk sisi kanan sungai. Sementara alat pengambil sampel air untuk *suspended load* digunakan alat *tipeload*. Pada masing-masing lokasi sampel *suspended load* diambil pada tiga titik melintang sungai dan dengan kedalaman  $0,2 H$ ;  $0,6 H$  dan  $0,8H$  pada tiap titik tersebut.



Gambar 5 Pengambilan sedimen di jembatan Citarum

4. Pemodelan numerik 1 D di Citarum hulu berdasarkan data pengukuran topografi yang telah dilakukan serta data laju angkutan sedimen hasil pengukuran tahun-tahun sebelumnya. Proses analisis model numerik yang dilakukan pada tahap ini menggunakan bantuan program Mike11.

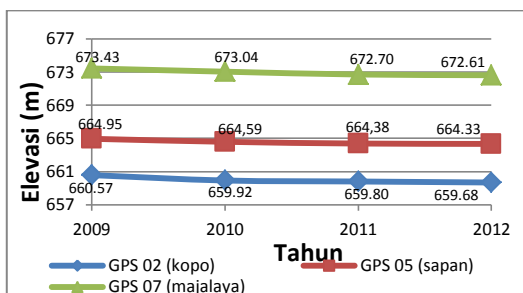
## HASIL PEMBAHASAN

### Pemantauan Penurunan Lahan

Pemantauan penurunan lahan di Citarum Hulu telah dilakukan sejak tahun 2009 hingga tahun 2012. Pemantauan ini dilakukan untuk mengetahui kecenderungan perubahan atau penurunan elevasi lahan dari Sapan sampai Nanjung seperti disajikan pada Gambar 6. Perubahan atau penurunan elevasi yang terjadi akan berpengaruh terhadap potensi genangan yang terjadi. Selain itu juga akan berpengaruh terhadap umur layan bangunan air yang berada di sekitar daerah tersebut. Pengukuran penurunan lahan dilakukan di tiga titik di Sungai Citarum Hulu yaitu Kopo, Sapan dan Majalaya. Hasil pengukuran tersebut, yang disajikan pada grafik Gambar 7, menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan lahan di Citarum Hulu sebesar ± 0,1 – 0,6 meter di titik tinjau GPS 02 (Kopo), GPS 05 (Sapan), dan GPS 07 (Majalaya). Hal ini dapat mengakibatkan semakin tingginya genangan air jika terjadi banjir di daerah tersebut.



Gambar 6 Pemantauan RTK di Majalaya



Gambar 7 Grafik penurunan lahan di Citarum Hulu

### Kalibrasi Model Citarum Hulu

Kalibrasi model numerik sungai dilakukan berdasarkan data pengukuran debit di lapangan dimana pada tahap kalibrasi ini dilakukan perbandingan antara nilai kemiringan dari hasil pengukuran di lapangan dengan nilai kemiringan muka air hasil dari model numerik, hal ini perlu dilakukan supaya model menunjukkan hasil yang mendekati kondisi sebenarnya di lapangan. Kalibrasi data pengukuran hidrometri tersebut dilakukan dengan menggunakan program Mike11. Hasil pengukuran debit dan kemiringan muka air di lapangan dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Data Pengukuran Lapangan

No	Lokasi	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Kemiringan Muka Air	Kekasaran Dasar Sungai
1	Sapan	23,7	0,0002	32,6
2	Nanjung	193,44	0,0004	44,5

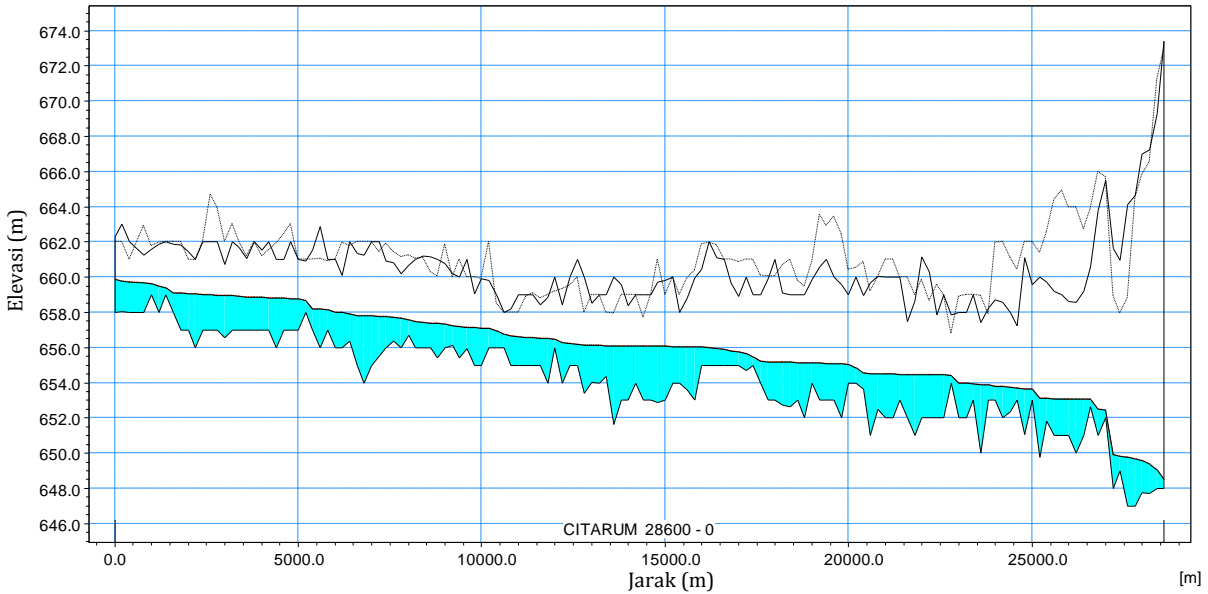
(Sumber : Puslitbang SDA, 2011)

Pemodelan dilakukan dengan mengambil ruas dari daerah Sapan hingga ke Nanjung. Dalam proses kalibrasi dilakukan analisis pemodelan numerik dalam 2 kondisi debit yang berbeda, yaitu dengan debit (Q) sebesar 23,7 m<sup>3</sup>/s dan 193,44 m<sup>3</sup>/s. Berdasarkan hasil kalibrasi dengan mengacu pada perbandingan kemiringan muka air pada Tabel 1 diatas dapat disimpulkan bahwa model cukup baik dalam mensimulasikan kondisi lapangan, model sistem yang telah disiapkan dapat digunakan dalam analisis selanjutnya dengan menggunakan program Mike11.

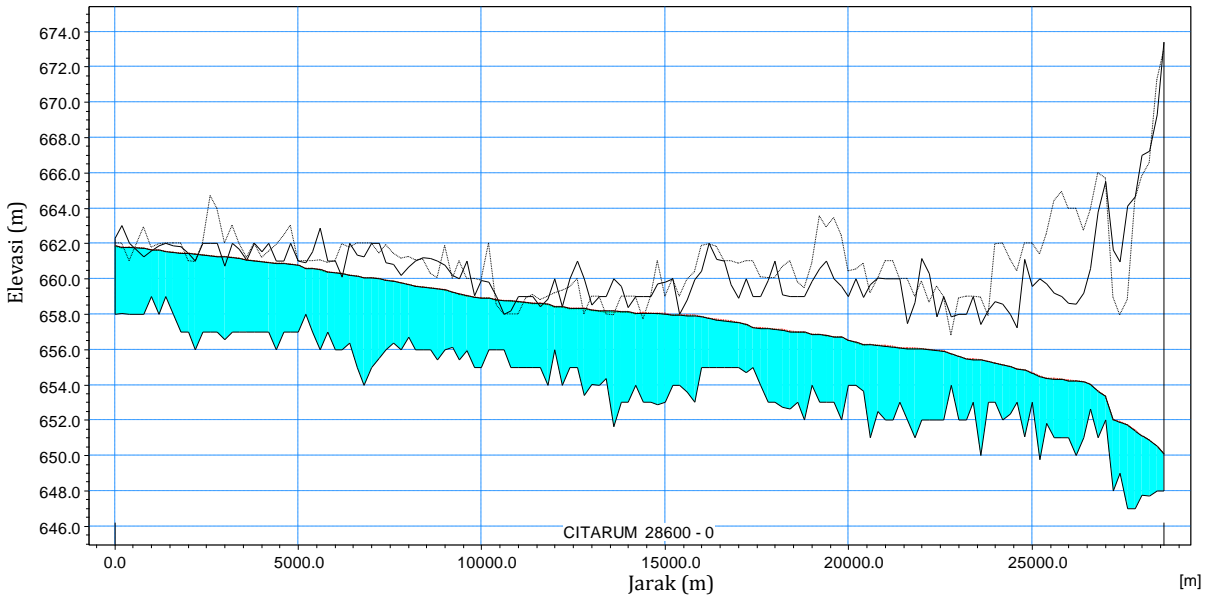
Tabel 2 Perbandingan Kemiringan Muka Air Antara Pengukuran Lapangan dengan Model Numerik

No	Lokasi	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Kemiringan Muka Air Pengukuran Lapangan	Kemiringan Muka Air Hasil Model Numerik
1	Sapan	23,7	0,0002	0,0002
2	Nanjung	193,44	0,0004	0,0004

Hasil pemodelan Sungai Citarum Hulu untuk kedua debit tersebut di atas dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8 Hasil Model Numerik Sungai Citarum Hulu  $Q = 23,7 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Gambar 9 Hasil model numerik Sungai Citarum hulu  $Q = 193,44 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Analisis Model Numerik Pada Penampang Saluran Eksisting**

Tahap awal analisis model numerik pada penelitian ini adalah melakukan simulasi pemodelan dengan menggunakan saluran eksisting sungai Citarum dari Sapan sampai Nanjung sepanjang 27 km pada debit banjir periode ulang 5 tahunan untuk melihat kapasitas dan perilaku sedimentasinya seperti yang terlihat pada **Gambar 10** dan **Gambar 11**. Langkah awal dalam analisis ini adalah pengumpulan data primer (topografi, debit kecepatan sesaat, angkutan sedimen) dan data sekunder (data hidrologi, data geologi) untuk selanjutnya digunakan sebagai parameter masukan (*input parameter*) dalam pemodelan numerik 1D. Setelah tahap pengumpulan data selesai dilakukan,

kemudian dilanjutkan dengan tahapan pembuatan jaringan sungai (*river network*) dengan menghubungkan potongan penampang melintang (*cross section*) dengan potongan penampang memanjang (*long section*) sehingga menjadi satu kesatuan. Kemudian dilanjutkan dengan penentuan parameter batas (*boundary*) sebagai masukan dalam pemodelan dengan menggunakan Program Mike11. Dalam simulasi ini terdapat dua parameter masukan utama yang diperlukan, yaitu besar debit sebagai batas udik, dan tinggi muka air sebagai batas hilir. Simulasi pemodelan ini menggunakan debit banjir periode ulang 5 tahunan dimana pemodelan juga menggunakan Program Mike11 dengan periode simulasi 1 tahun pada sepanjang alur sungai Citarum hulu. Sedangkan untuk

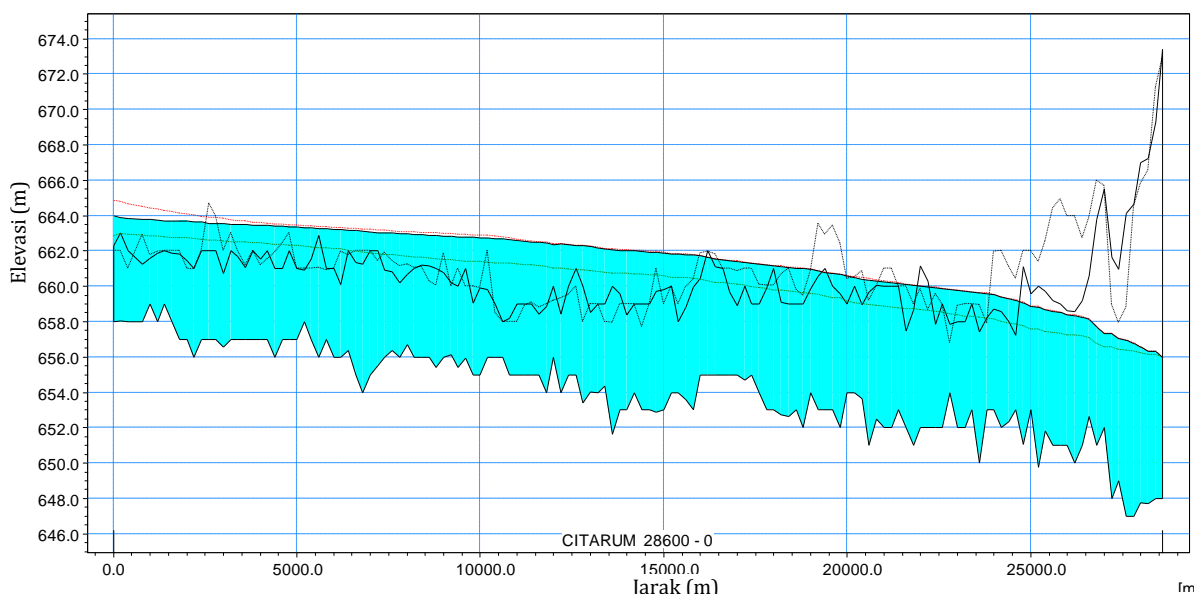
parameter yang digunakan untuk simulasi sedimentasi didapatkan dari pengambilan sampel di lapangan. Data debit yang dijadikan acuan dalam analisis ini disampaikan pada Tabel 3.

**Tabel 3** Debit Banjir Anak Sungai Citarum Hulu

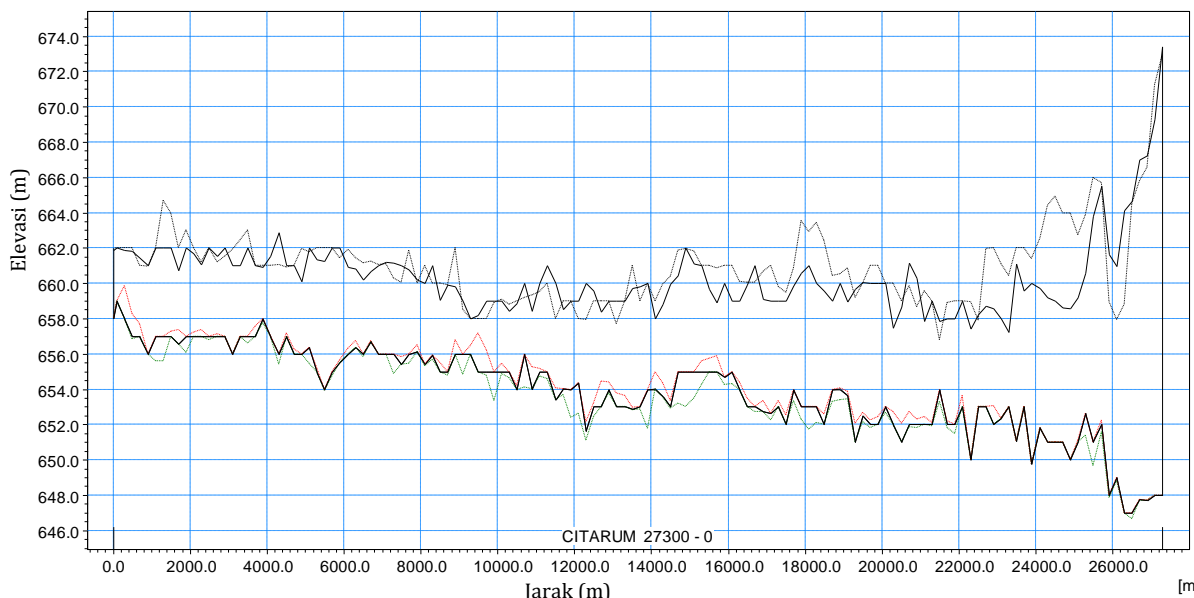
Q (m <sup>3</sup> /s)	Cikeruh	Citarik	Cisarea	Citarum atas	Cisangkuy	Cwidey
2 thn	90,18	155,7	58,29	153,2	183,4	99,21
5 thn	94,91	274,0	69,14	190,0	222,7	110,4
20 thn	133,77	387,1	128,54	290,7	352,8	125,8
50 thn	161,17	408,1	172,22	394,4	422,9	150,8

(Sumber : Deltares, 2010)

Berdasarkan hasil simulasi numerik pada Gambar 10 terlihat bahwa saluran tidak mampu mengalirkan debit dengan periode ulang 5 tahunan yang ditunjukkan dengan tinggi muka air banjir (garis merah) yang berada di atas tebing kanan dan kiri sungai, selain itu pada **Gambar 11** terlihat bahwa sedimentasi masih terjadi secara merata hampir di seluruh ruas sungai Citarum hulu. Hal ini menunjukkan bahwa sedimentasi menjadi salah satu penyebab mengecilnya kapasitas saluran sungai. Oleh karena itu, selanjutnya perlu dilakukan strategi dengan skenario pemodelan lain untuk mengatasi masalah ini.



**Gambar 10.** Profil muka air Sungai Citarum Hulu untuk Q 5 tahunan dengan saluran eksisting.

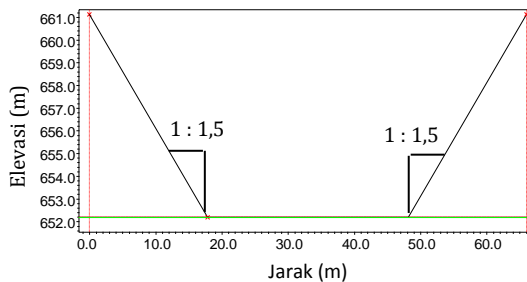


**Gambar 11.** Perilaku sedimentasi Sungai Citarum Hulu dengan penampang saluran eksisting.

### Analisis Model Numerik Pada Penampang Saluran Tunggal

Setelah mengetahui respon morfologi sungai pada saluran eksisting, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis model numerik dengan menggunakan penampang saluran tunggal seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 12**. Parameter yang digunakan sama dengan parameter untuk simulasi pada saluran eksisting untuk melihat kapasitas sungai dan perilaku sedimentasinya. Hal ini merupakan salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk menambah kapasitas sungai, sehingga diharapkan saluran sungai mampu mengalirkan debit periode ulang 5 tahunan dengan mempertimbangkan hasil kajian masalah sedimentasi yang terjadi di sepanjang ruas sungainya. Berdasarkan hasil simulasi numerik penampang saluran tunggal, diketahui bahwa kapasitas saluran sungai bertambah menjadi  $\pm 509,091 \text{ m}^3/\text{s}$  sehingga dapat menurunkan muka air banjir, seperti terlihat pada Gambar 13. Sedangkan untuk perilaku sedimentasinya dapat dilihat pada Gambar 14, dimana proses sedimentasi yang bisa menyebabkan agradasi (garis merah) dan degradasi (garis hijau) tetap

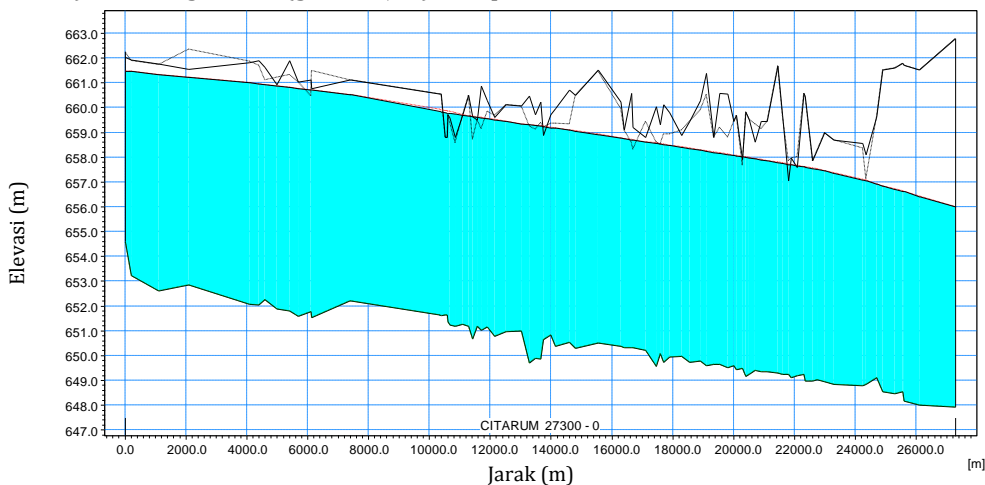
terjadi di beberapa lokasi pada ruas sungai dan dominan di ruas bagian tengah sungai.



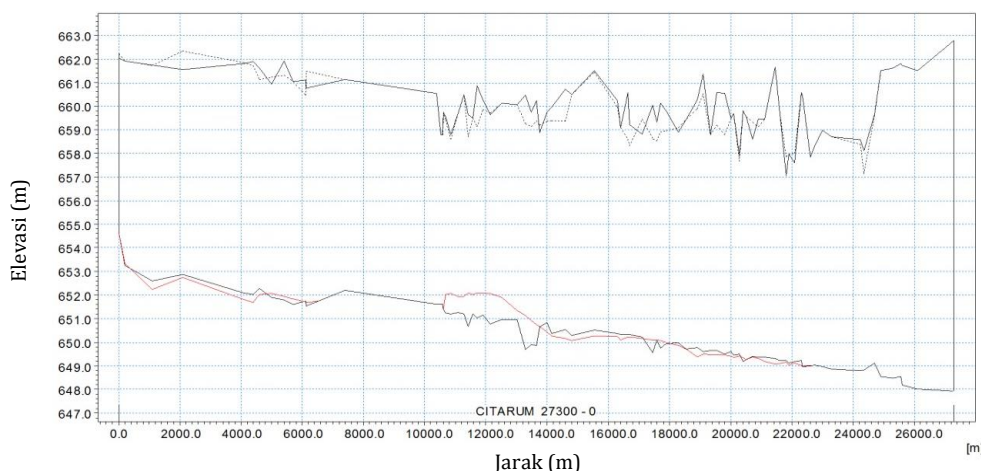
**Gambar 12** Potongan melintang saluran tunggal

### Analisis Model Numerik Pada Penampang Saluran Ganda

Tahap akhir analisis model numerik adalah melakukan pemodelan penampang saluran ganda seperti yang terlihat pada Gambar 16. Parameter yang digunakan sama dengan parameter untuk simulasi pada saluran eksisting dan saluran tunggal untuk melihat kapasitas sungai dan perilaku sedimentasinya. Berdasarkan hasil simulasi numerik penampang saluran ganda,



**Gambar 13** Profil muka air Sungai Citarum Hulu untuk Q 5 tahunan dengan saluran tunggal

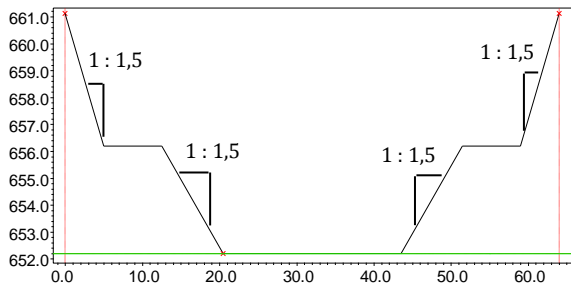


**Gambar 14** Perilaku sedimentasi Sungai Citarum Hulu dengan saluran tunggal

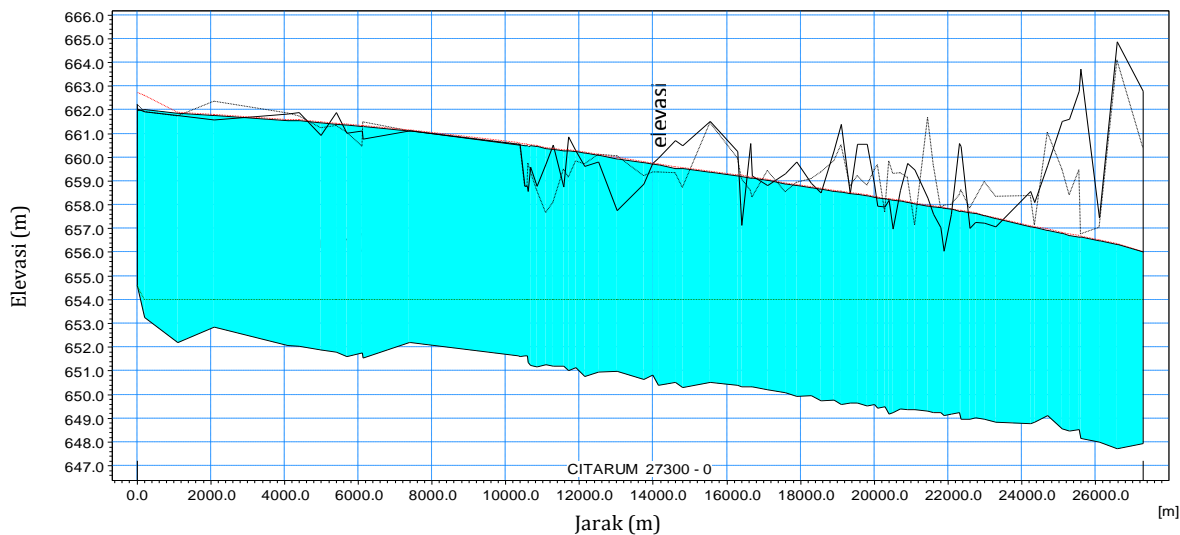
bahwa kapasitas saluran sungai bertambah menjadi  $\pm 428,94 \text{ m}^3/\text{s}$  sehingga dapat menurunkan muka air banjir, seperti terlihat pada Gambar 16. Sedangkan, untuk perilaku sedimentasinya dapat dilihat pada Gambar 17 dimana proses sedimentasi yang bisa menyebabkan aggradasi dan degradasi (garis merah) tetap terjadi di beberapa lokasi pada ruas sungai.

### Evaluasi Kapasitas Sungai Citarum Hulu

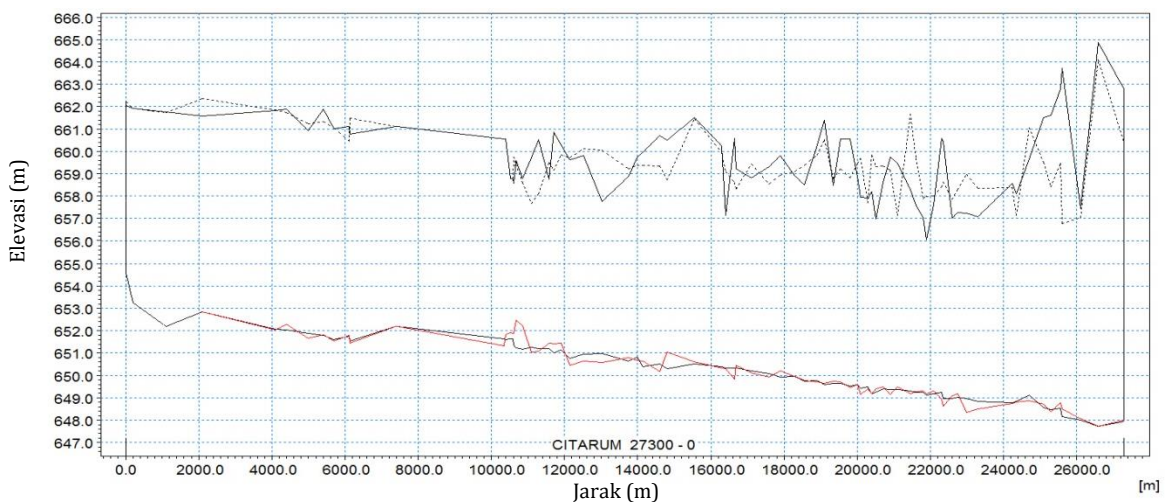
Berdasarkan hasil simulasi model numerik seperti terlihat pada Gambar 8 dan Gambar 9 dimana terlihat bahwa penampang Sungai Citarumhulu eksisting tidak mampu mengalirkan debit dengan periode ulang 5 tahunan. Berdasarkan hasil tersebut juga terlihat bahwa hampir di sepanjang sungai airnya masih melimpas (banjir) dengan ketinggian antara  $\pm 1 - 1,5$  meter di atas tanggul. Hal tersebut dapat ditanggulangi dengan melakukan penyesuaian penampang sungai agar dapat menambah kapasitas sungai sampai dengan debit banjir periode ulang 5 tahun di sepanjang alur sungai dari Sapan sampai Nanjung, baik dengan penampang saluran tunggal maupun penampang saluran ganda. Dari hasil simulasi numerik dengan menggunakan Program Mike11 diketahui bahwa dengan



Gambar 15 Potongan melintang saluran ganda.



Gambar 16 Profil muka air Sungai Citarum hulu untuk Q 5 tahunan dengan saluran ganda (compound channel)



Gambar 17 Perilaku sedimentasi Sungai Citarum hulu dengan saluran ganda (compound channel)

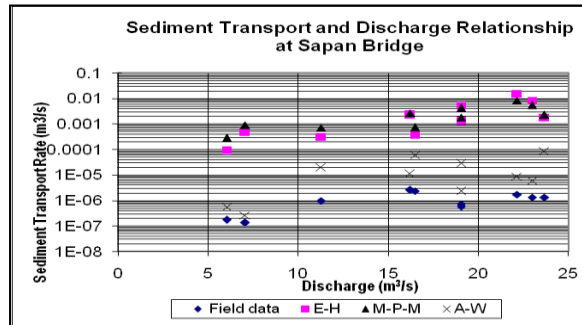
melakukan penyesuaian penampang sungai saluran tunggal maupun saluran ganda dapat menurunkan muka air banjir, dimana untuk penampang saluran tunggal memiliki kapasitas debit sebesar ± 509,091 m<sup>3</sup>/s sedangkan penampang saluran ganda memiliki kapasitas sekitar ± 428,94 m<sup>3</sup>/s. Dengan demikian, kapasitas debit pada saluran tunggal lebih besar daripada saluran ganda sehingga saluran tunggal mampu menurunkan muka air lebih banyak dibanding saluran ganda.

**Analisis Sedimentasi Sungai Citarum Hulu**

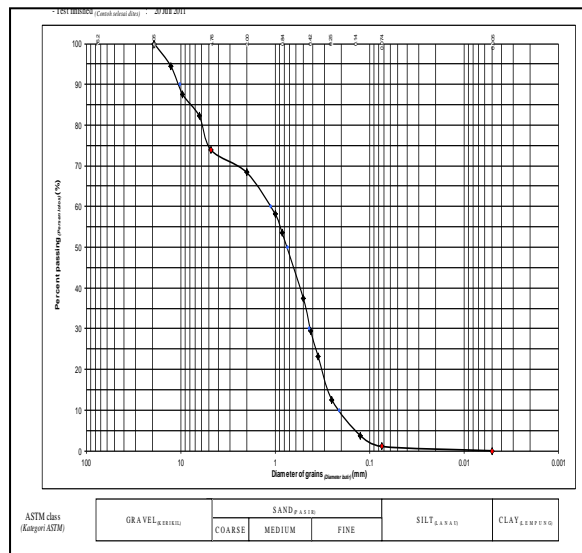
Pemilihan metode analisis sedimentasi dilakukan dengan memperbandingkan data pengukuran lapangan dengan hasil perhitungan dengan teori angkutan sedimen yang ada. Berdasarkan hasil analisis data pengukuran lapangan dan metode teoritis didapatkan perbandingan yang dituangkan dalam grafik, seperti terlihat pada Gambar 18. Berdasarkan hasil tersebut terlihat bahwa metode yang paling mendekati kondisi lapangan adalah laju angkutan sedimen dengan teori Ackers-White (A-W). Perilaku sedimentasi Sungai Citarum hulu dilakukan dengan memperhatikan data gradasi material dasar sungai. Hasil analisis laboratorium untuk sedimen laying dan sedimen dasar, serta analisis gradasi butir untuk contoh material dasar sungai Citarum hulu disampaikan pada Gambar 19. Kurva analisis gradasi butiran ini menjelaskan bahwa tanah di Citarum hulu dominan pasir kerikilan. Metode analisis sedimentasi yang dipilih akan digunakan sebagai masukan dalam pemodelan numerik. Berdasarkan hasil simulasi sedimentasi terlihat bahwa pada penampang saluran eksisting, proses sedimentasi dan perubahan dasar sungai terjadi hampir merata di sepanjang alur sungai Citarum hulu seperti terlihat pada Gambar 11. Sedimentasi tersebut dapat menyebabkan mengecilnya kapasitas aliran saluran sungai dan mengakibatkan banjir. Kemudian setelah dilakukan pemodelan dengan menggunakan saluran tunggal dan saluran ganda terlihat perbedaan dari perilaku sedimentasinya, dimana pada saluran ganda kondisi sedimentasi dominan di ruas KM 10000 – 14000 atau sekitar Dayeuh Kolot dan Cisangkuy sementara pada saluran ganda sedimentasi lebih sedikit dan stabil terjadi seperti terlihat pada Gambar 14 dan Gambar 17.

Hal ini juga terjadi karena pengaruh dari kecepatan aliran pada masing-masing saluran. Saluran tunggal dengan tinggi muka air banjir yang lebih rendah dibandingkan dengan tinggi muka air banjir pada saluran ganda sehingga kecepatan aliran pada saluran tunggal lebih lambat

dibandingkan saluran ganda seperti terlihat pada Tabel 4, akibatnya potensi terjadinya sedimentasi pada saluran tunggal akan lebih besar daripada pada saluran ganda. Hal ini terjadi karena kecepatan aliran ini akan berpengaruh juga kepada laju angkutan sedimennya.



**Gambar 18** Grafik perbandingan laju angkutan sedimen antara hasil pengukuran lapangan dengan teoritis



**Gambar 19** Kurva analisis gradasi butiran

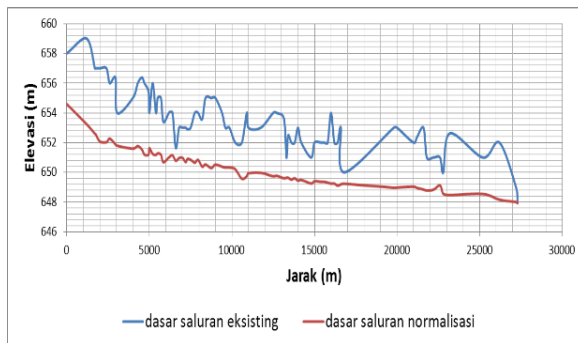
**Tabel 4** Perbandingan kecepatan aliran pada saluran tunggal dan ganda di penampang melintang Citarum 19.800

Saluran	TMA (m)	A (m <sup>2</sup> )	R (m)	P (m)	S	V (m/s)
Tunggal	660,40	377,12	5,56	67,89	0,00024	1,21
Ganda	661,50	436,70	6,31	69,16	0,00024	1,32

**Analisis Pengendalian Banjir Citarum Hulu**

Muka air banjir yang tinggi pada saat musim hujan menyebabkan banyak daerah yang tergenang banjir, dimana salah satu penyebabnya adalah kondisi sungai Citarum saat ini tidak mampu menampung debit banjir seperti terlihat pada Gambar 10. Selain itu proses sedimentasi yang tinggi di sungai Citarum hulu juga turut berperan dalam meninggikan muka air karena laju

angkutan sedimen yang tinggi dari anak sungai Citarum mengakibatkan volume sedimen di sungai Citarum menjadi meningkat. Sedimentasi tersebut mengakibatkan terjadinya perubahan dasar sungai seperti agradasi yang membuat volume tampungan sungai menjadi berkurang. Secara struktural, solusi yang bisa dilakukan adalah dengan normalisasi dan penyesuaian penampang saluran sungai dengan saluran ganda kapasitas saluran menjadi lebih besar. Analisis model numerik dengan normalisasi menggunakan penampang saluran tunggal seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 20**. Dari grafik dasar saluran terlihat bahwa saluran eksisting sangat berfluktuasi.



**Gambar 20** Dasar saluran eksisting dan normalisasi

Sedangkan, solusi nonstruktural yang bisa dilakukan adalah dengan pengelolaan kawasan hutan lindung di hulu DAS Citarum, penataan kawasan permukiman dan drainase di daerah rawan banjir, penegakkan hukum tentang kawasan lindung sempadan sungai, dan sosialisasi untuk peningkatan kepedulian masyarakat (*public awareness*). Analisis pengendalian banjir Citarum hulu ini bisa dilihat pada Tabel 5.

## KESIMPULAN

Dari hasil kegiatan yang telah dilakukan dapat disampaikan bahwa penurunan lahan yang telah terjadi di Sungai Citarum  $\pm 0,1 - 0,6$  m dari tahun 2009 sampai 2012 dimana hal ini dapat mengakibatkan semakin tingginya genangan air akibat banjir. Selain itu potensi terjadinya sedimentasi juga perlu diperhatikan karena dapat semakin mengurangi kapasitas dari saluran. Oleh karena itu perlu dilakukan juga revitalisasi saluran sungai untuk menampung debit banjir 5 tahunan.

Alternatif desain yang dapat diterapkan adalah dengan menggunakan penampang saluran tunggal dan saluran ganda. Dilihat dari kapasitas **Tabel 5** Analisis Pengendalian Banjir Citarum Hulu

debit, penampang saluran tunggal dan saluran ganda sama-sama mampu mengalirkan debit dengan periode ulang 5 tahunan tetapi potensi sedimentasi dan potensi perubahan dasar sungai yang terjadi pada penampang saluran tunggal lebih cepat dibandingkan dengan penampang saluran ganda.

Berdasarkan hasil simulasi numerik dapat disimpulkan bahwa saluran ganda lebih baik untuk digunakan dengan pertimbangan potensi sedimentasi yang lebih kecil dibandingkan dengan saluran tunggal sehingga kapasitas debit yang ada mampu mengalirkan sampai debit Q 5 tahunan dan diharapkan dapat mengatasi permasalahan banjir dan sedimentasi yang selama ini terjadi di sungai Citarum.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Balai Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan, atas masukan dan sarannya sehingga tulisan ini dapat terwujud.

## DAFTAR PUSTAKA

- Deltares, *Upper Citarum Basin Flood Management*, 2011.
- DHI Water & Environment, *MIKE 11 A Modelling System for Rivers and Channels User Guide*, June 2002
- Dinas PSDA Provinsi Jawa Barat, *Studi Revitalisasi Curug Jompong*, 2008.
- JICA, *The Study on The Flood Control Plan of The Upper Citarum Basin*, 1987.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, *Kajian Komprehensif Penanganan Banjir di Sungai CitarumHulu*, November 2006.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, *Laporan Akhir Penanganan Banjir di Sungai Citarum Hulu*, 2010.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, *Laporan Akhir Model Sistem Penelitian Pengelolaan Bencana Banjir di Daerah Aliran Sungai (Studi Kasus DAS Citarum)*, Desember 2011.
- PT Trisnawati M., DHI Konsult Sdn. Bhd., *MIKE 21C Training*, 2008.

KATEGORI		ISU	APA YANG DIINGINKAN?	APA YANG DIPERLUKAN?	PROGRAM STRUKTURAL	PROGRAM NON STRUKTURAL
AREA KUNCI	KOMPONEN MASALAH					
Banjir	Tinggi Muka Air	Muka air banjir yang tinggi pada saat musim hujan menyebabkan banyak daerah yang tergenang banjir	Daerah rawan banjir menjadi daerah bebas banjir	Normalisasi saluran sungai Citarum dengan konsep mengubah penampang sungai yang ada menjadi berpenampang ganda ( <i>compound channel</i> )	Penyelidikan lapangan, DED, Pengerukan, dan konstruksi, serta pemeliharaan sungai Citarum yang dapat menampung debit Q 5 tahun	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengelolaan kawasan lindung di hulu DAS Citarum</li> <li>• Penataan kawasan permukiman dan drainase di daerah rawan banjir</li> <li>• Penegakkan hukum tentang kawasan lindung sempadan sungai</li> <li>• Sosialisasi untuk peningkatan kepedulian masyarakat (<i>public awareness</i>)</li> </ul>
	Debit banjir	Sungai Citarum dengan penampang sungai yang ada saat ini tidak mampu menampung debit banjir Q5th	Sungai Citarum mampu menampung debit banjir sampai Q5 thn			
Sedimentasi	Perubahan Dasar sungai	Sedimentasi yang tinggi telah mengakibatkan agradasi sungai sehingga volume tampungan sungai menjadi berkurang	Sedimentasi dapat dikendalikan sehingga volume tampungan sungai mampu menampung air banjir			
	Angkutan sedimen	Laju angkutan sedimen yang tinggi dari anak sungai Citarum mengakibatkan volume sedimen di sungai Citarum menjadi meningkat				