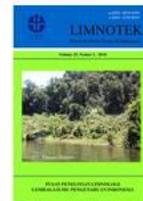




LIMNOTEK  
Perairan Darat Tropis di Indonesia  
p-ISSN: 0854-8390 e-ISSN: 2549-8029  
www.limnotek.or.id



## **Analisis Sensitivitas Parameter Model HBV: Studi Kasus SubDAS Citarum Hulu**

**Siti Masitoh dan Bambang Dwi Dasanto**

Departemen Geofisika dan Meteorologi, IPB, Bogor

Email penulis: bambangdwi@apps.ipb.ac.id

Diajukan 2 November 2017. Ditelaah 17 Februari 2018. Disetujui 29 Oktober 2018.

### **Abstrak**

Model HBV adalah model konseptual yang memiliki beberapa parameter dalam struktur model. Parameter tersebut sebagian besar adalah parameter yang tidak dapat diukur secara langsung, sehingga penentuan nilai parameter tertentu secara manual dapat menyebabkan ketidakpastian dan kesalahan pada hasil simulasi. Karya tulis ini bertujuan untuk mengetahui sensitivitas beberapa parameter dari model HBV supaya hasil simulasi model itu bisa dievaluasi. Hal ini dimaksudkan agar pengguna model HBV selanjutnya akan lebih mudah dalam menganalisis sumber kesalahan pada hasil simulasi. Model HBV telah digunakan untuk mensimulasi hidrograf aliran di DAS Citarum hulu. Tingkat kemiripan antara hasil model dan observasi adalah sedang atau sekitar 0,63 dalam skala koefisien efisiensi Nash-Sutcliffe. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa parameter  $K_0$ ,  $K_1$ , dan  $K_{perc}$  sangat sensitif terhadap simulasi debit puncak aliran. Selain itu, parameter FC memengaruhi volume debit total, sedangkan parameter  $K_2$  dan  $K_{perc}$  memengaruhi distribusi aliran permukaan dan aliran dasar.

Kata kunci: HBV, debit, parameter, sensitivitas

### **Abstract**

HBV model is a conceptual model that has some parameters in the structure of model. Most of these parameters cannot be measured directly, so determining the values of parameters manually can cause uncertainty and error in the result of simulation. This paper aims to determine the sensitivity of some parameters of the HBV model so that the results of the model simulation can be evaluated. Furthermore, it is expected that it will be easier for the next users of this model in analyzing the sources of error in the simulation. HBV model has been used to simulate flow hydrograph in the upper Citarum watershed. The level of similarity between the result of the model and the observation was moderate or 0.63 according to Nash-Sutcliffe coefficient. The results of the sensitivity analysis showed that  $K_0$ ,  $K_1$ , and  $K_{perc}$  parameters were sensitive to simulation of peak discharge. In addition, FC parameter affected the total discharge volume, while  $K_2$  and  $K_{perc}$  parameters affected the distribution of surface flow and baseflow.

Keywords: HBV, discharge, parameter, sensitivity

## Pendahuluan

Model HBV (*Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning*) adalah model hidrologi yang dikembangkan oleh *Swedish Meteorological and Hydrological Institute* (SMHI) di Swedia sejak tahun 1972. Model ini digunakan untuk menghitung neraca air permukaan dan memiliki akurasi cukup baik dalam menyimulasikan hidrograf aliran, serta telah digunakan di lebih dari 30 negara (Bergstrom, 1992).

Penggunaan sebuah model dalam menganalisis kondisi alam tetap memiliki kekurangan. Luaran yang dihasilkan model memiliki potensi kesalahan, meskipun penggunaan model tersebut sudah tersebar luas dan telah dievaluasi dalam jangka panjang (Wegener *et al.*, 2002). Kesalahan ini disebabkan berbagai faktor, dapat berupa galat pada data observasi, proses alami yang acak, maupun ketidakmampuan pengguna dalam melakukan prosedur kalibrasi.

Kalibrasi adalah proses mencari dan mengidentifikasi satu set parameter optimum yang menggambarkan kondisi wilayah kajian, sehingga hasil simulasi model mendekati hasil observasi. Kalibrasi yang dilakukan secara manual menggunakan *trial* dan *error* pada proses simulasi bertujuan untuk menghasilkan satu set parameter. Akan tetapi, nilai parameter tersebut mungkin tidak dapat menghasilkan semua pendekatan yang baik untuk semua kejadian berbeda di wilayah observasi. Untuk simulasi jangka panjang, satu set parameter bukan hanya berbeda pada setiap kejadian, akan tetapi juga berubah sepanjang waktu bersamaan dengan perubahan kondisi batas dan karakteristik proses (Wriedt & Rode, 2006). Ketidakpastian parameter disebabkan oleh

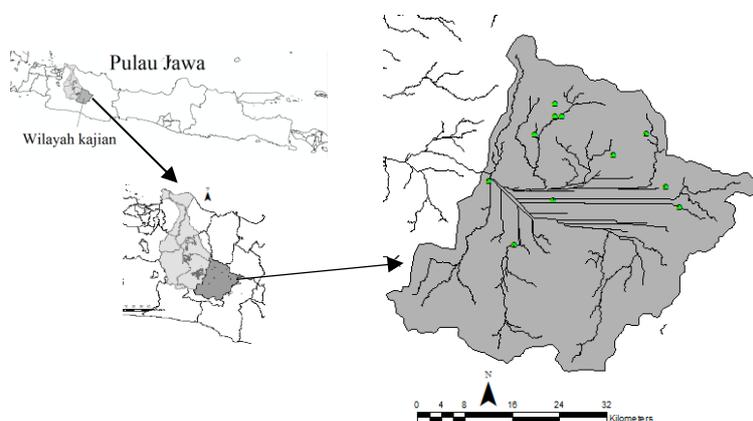
kesalahan, baik pada struktur model maupun variabel observasi atau juga karena interaksi antara parameter model yang berbeda (Seibert, 1997). Berdasarkan hasil kajian Seibert (1997), penelitian ini mengamati parameter model HBV yang sensitif dan bertujuan untuk menemukan penyebab ketidakpastian model.

## Metode

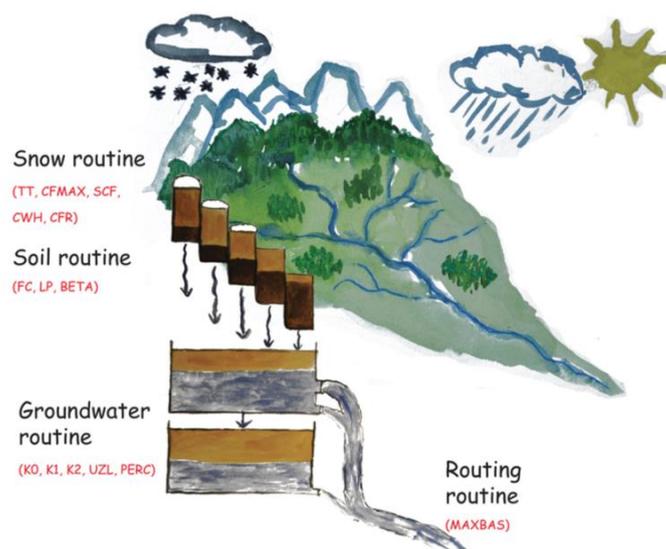
### Lokasi

Simulasi model HBV dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum hulu. Secara geografis, DAS Citarum hulu terletak di  $107^{\circ}15'46,27''$  -  $107^{\circ}57'1,99''$  BT dan  $6^{\circ}43'8,65''$  -  $7^{\circ}14'32,09''$  LS. DAS Citarum hulu memiliki luas  $\pm 2.341$  km<sup>2</sup> dengan lokasi *outlet* di pos Nanjung. DAS ini terdiri dari 7 SubDAS, yaitu Cisangkuy, Citarik, Cikapundung, Ciwidey, Ciminyak, Cirasea, dan Cihaur. DAS Citarum hulu terdapat di wilayah Kabupaten Bandung (56,24%), Kabupaten Bandung Barat (29,26%), Kota Bandung (6,53%), Kota Cimahi (1,76%), Kabupaten Sumedang (5,5%), dan Kabupaten Garut (0,71%) (Bappeda Jawa Barat, 2012).

Citarum hulu merupakan subDAS yang memasok air untuk Waduk Saguling. Dalam rentang waktu 11 tahun (2000–2010), debit yang terukur di Waduk Saguling (pos Nanjung) sangat berfluktuasi terhadap musim. Debit terendah yang pernah terukur adalah 2,03 m<sup>3</sup>/s, tertinggi adalah 554,30 m<sup>3</sup>/s dan rata-rata 85,65 m<sup>3</sup>/s. Debit yang tinggi pada musim penghujan menyebabkan banjir di daerah Dayeuhkolot, Bojongsoang, Majalaya, Banjaran, dan beberapa wilayah lain di Kabupaten Bandung (BPDAS Citarum-Ciliwung, 2010).



Gambar 1. Peta DAS Citarum bagian hulu



Gambar 2. Struktur model HBV (Seibert & Vis, 2012)

### Data dan Model HBV

Model HBV telah banyak dikembangkan antara lain HBV3-ETH (Renner & Braun 1990), HBV-96 (Lindström *et al.*, 1997), dan HBV-Light (Seibert, 2005). Khusus pada penelitian ini digunakan model HBV *ensemble* yang dikembangkan oleh Aghakouchak dan Habib (2010). Secara umum, ada empat komponen yang digunakan dalam model HBV, yaitu (1) pencairan salju dan akumulasinya, (2) kelembapan tanah dan presipitasi efektif, (3) evapotranspirasi, dan (4) respons aliran permukaan (Lindström *et al.*, 1997). Berdasarkan keempat komponen tersebut, struktur model HBV diperlihatkan dalam Gambar 2, sedangkan deskripsi detailnya terdapat pada Seibert dan Vis (2012).

Data yang digunakan untuk mengaplikasikan model HBV adalah data curah hujan wilayah menggunakan model Poligon Thiessen yang berasal dari 15 titik pos hujan. Selain itu, digunakan juga data suhu udara untuk menduga jumlah evapotranspirasi potensial dan data debit observasi di *outlet* DAS Citarum hulu yang terletak di pos Nanjung. Data yang digunakan untuk kalibrasi adalah data tahun 2006–2008, sedangkan untuk validasi digunakan data tahun 2010.

### Hujan Efektif

Hujan yang jatuh di suatu DAS akan terbagi menjadi dua komponen, yaitu abstraksi hidrologi dan limpasan permukaan. Komponen kedua tersusun oleh limpasan permukaan langsung (*direct surface runoff*) dan aliran

dasar (*baseflow*). Secara teoritis, besar limpasan permukaan langsung setara dengan hujan efektifnya.

Kapasitas lapangan (FC) menunjukkan tingkat kelembapan tanah, yaitu jumlah air yang dapat ditahan oleh tanah setelah air gravitasi dari tanah tersebut turun semua. Kelembapan tanah sangat dipengaruhi oleh lama dan jeluk hujan. Saat kelembapan tanah mendekati atau sama dengan nilai kapasitas lapangan, maka kemampuan tanah untuk menyerap air hujan akan turun dan air hujan yang berlebih (*excess water*) akan menjadi limpasan permukaan langsung (*direct surface runoff*).

Total hujan berlebih adalah setara dengan total hujan efektif. Besar hujan efektif dapat diduga dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_{\text{eff}} = \frac{SM^B}{FC} (P + Sm)$$

$P_{\text{eff}}$  = hujan efektif total

SM = kandungan air tanah (mm)

FC = kapasitas lapangan (mm)

B = *shape coefficient*

P = curah hujan total wilayah (mm)

Sm = akumulasi lelehan salju (diasumsikan bernilai 0).

Jumlah defisit kelembapan tanah dihitung melalui rasio SM/FC. Parameter Beta ( $\beta$ ) akan mengontrol jumlah air yang berkontribusi terhadap limpasan permukaan (Bergström, 1992). Beta dan FC merupakan parameter

model yang bernilai tetap, sedangkan SM atau kelembapan tanah merupakan nilai kondisional yang diinisiasi dan nilainya berubah selama proses simulasi. Nilai kelembapan tanah dihitung dengan menjumlahkan kelembapan tanah inisiasi (SMi) dengan jumlah air yang berasal dari presipitasi dan akumulasi salju yang mencair, dan mengurangnya dengan nilai hujan efektif dan evapotranspirasi aktual.

### Evapotranspirasi

Penghitungan evapotranspirasi potensial yang disesuaikan (ETp) membutuhkan data rata-rata evapotranspirasi aktual bulanan (ETa), suhu udara harian rata-rata (Tm), suhu harian (T), dan parameter model (C).

$$ETp = (1 + C(T - Tm)). Eta$$

Nilai ETp ditentukan menggunakan metode Thornthwaite. Nilai C adalah parameter yang digunakan untuk meningkatkan kinerja model ketika nilai suhu harian menyimpang jauh dari nilai rata-rata hariannya. Evapotranspirasi aktual ditentukan dari nilai evapotranspirasi potensial harian di atas dengan menggabungkan nilai kandungan air tanah dan nilai titik layu permanen (*Permanent Wilting Point*). Evapotranspirasi aktual dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$ETa = ETp \left( \frac{SM}{PWP} \right) \quad ; \text{jika } SM < PWP$$

$$ETa = Etp \quad ; \text{jika } SM > PWP$$

### Limpasan/Aliran Permukaan

Konsep aliran permukaan model HBV digambarkan menggunakan dua buah tangki (Gambar 3). Tangki pertama menggambarkan aliran dekat permukaan, dan tangki kedua sebagai aliran dasar atau *base flow*. Kedua

tangki saling terhubung, kecepatan perkolasi di kedua tangki tersebut diasumsikan tetap ( $Q_{perc}$ ).

$$Q_0 = K_0 (S_1 - L) A \quad \text{jika } S_1 > L$$

$$Q_0 = 0 \quad \text{jika } S_1 \leq L$$

$$Q_1 = K_1 \cdot S_1 \cdot A$$

$$Q_{perc} = K_{perc} \cdot S_1 \cdot A$$

$$Q_2 = K_2 \cdot S_2 \cdot A$$

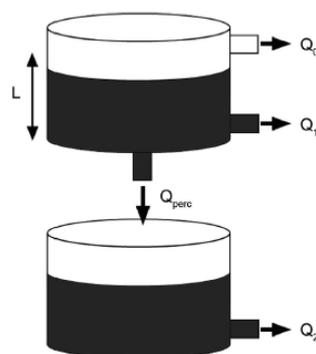
- $Q_0$  = aliran dekat permukaan ( $m^3/s$ )
- $Q_1$  = aliran antara ( $m^3/s$ )
- $Q_2$  = aliran dasar ( $m^3/s$ )
- $Q_{perc}$  = perkolasi ( $m^3/s$ )
- $K_0$  = koefisien simpanan aliran permukaan
- $K_1$  = koefisien simpanan aliran antara
- $K_2$  = koefisien simpanan aliran dasar
- $K_{perc}$  = koefisien simpanan perkolasi
- $S_1$  = level air di tempat penyimpanan pertama (mm)
- $S_2$  = level air di tempat penyimpanan kedua (mm)
- $L$  = ambang batas level air di dalam tangki atas (mm)
- $A$  = luas DAS ( $km^2$ ).

$S_1$  dan  $S_2$  merupakan nilai kondisional yang berubah selama proses simulasi. Debit atau limpasan total hasil simulasi ( $Q_{sim}$ ) diperoleh dari penjumlahan aliran permukaan, aliran antara dan aliran dasar dari reservoir pertama dan kedua dengan rumus:

$$Q_{sim} = Q_0 + Q_1 + Q_2$$

### Kalibrasi dan Validasi

Parameterisasi dan kalibrasi menggunakan data debit tahun 2006 sampai 2008, sedangkan validasi menggunakan data debit tahun 2010. Parameterisasi merupakan bagian dari proses kalibrasi. Fungsi parameterisasi adalah untuk mengidentifikasi



Gambar 3. Model tangki air HBV (Aghakouchak & Habib, 2010)

parameter model yang paling sensitif dan mengestimasi nilai parameter tersebut hingga hasil model mendekati nilai dan pola data observasinya. Berdasarkan pengertian ini, hanya parameter model sensitif yang akan dikalibrasi.

Proses kalibrasi dilakukan dengan mengubah nilai parameter sampai dihasilkan kesamaan nilai yang cukup memuaskan antara hasil simulasi dan observasi. Penentuan nilai parameter dilakukan dengan cara *moving window* tahunan dari tahun 2006 sampai 2010 yang menghasilkan rentang nilai parameter terbaik. Nilai dari rentang tersebut kemudian diiterasi menggunakan program Solver untuk menghasilkan satu set parameter optimum.

Fungsi objektif statistik yang digunakan untuk mengkalibrasi model hidrologi (seperti model HBV) antara lain adalah *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE); bentuk fungsi ini yaitu

$$NSE = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q})^2} \right)$$

$Q_{obs}$  = debit pengamatan

$Q_{sim}$  = debit simulasi

$\bar{Q}$  = debit rata-rata.

NSE merupakan normalisasi statistik yang sering digunakan untuk melihat kinerja model dengan nilai antara 0 dan 1. Pembagian kriteria NSE menurut Moriasi *et al.* (2007) adalah sebagai berikut:

$0,75 < NSE \leq 1,00$  : sangat baik

$0,65 < NSE \leq 0,75$  : baik

$0,50 < NSE \leq 0,65$  : cukup baik

$NSE \leq 0,50$  : buruk

Jika nilai NSE dari model terkalibrasi tersebut lebih besar atau sama dengan 0,65 maka model

itu baik. Namun, keandalan model perlu diuji kembali melalui proses validasi.

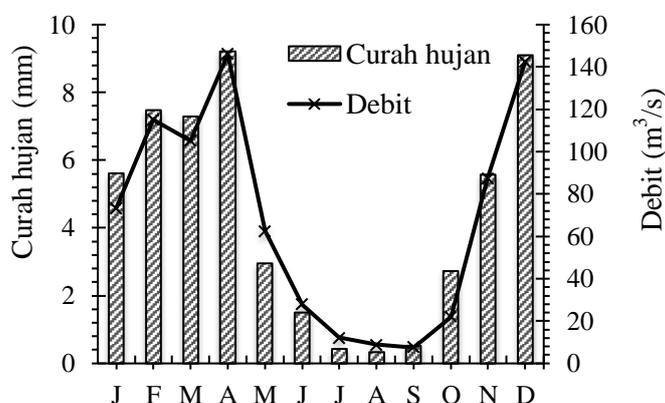
Proses validasi pada dasarnya adalah setara dengan proses kalibrasi. Perbedaannya terletak pada kerangka waktu dari komponen input yang digunakan, sedangkan jenis dan nilai parameternya sama dengan saat proses kalibrasi. Apabila nilai NSE dari model tervalidasi tersebut tetap tinggi maka model itu dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut. Jika sebaliknya, maka proses parameterisasi, kalibrasi, dan validasi perlu ditinjau kembali.

## Hasil dan Pembahasan

### Kondisi Umum

Curah hujan total wilayah yang dihasilkan menggunakan metode Poligon Thiessen tahun 2006 sampai 2008 berturut-turut sebesar 1.736, 2.106, dan 1.808 mm. Hujan di wilayah ini berpola muson, periode musim hujan terjadi dari bulan November sampai Mei dengan puncak hujan tertinggi terjadi pada bulan Desember. Kondisi topografi yang beragam menyebabkan curah hujan yang jatuh di DAS Citarum hulu tidak merata secara spasial dan beragam secara temporal (Hidayat *et al.*, 2103).

DAS Citarum hulu pada tahun 2006–2008 memiliki suhu udara rata-rata 23,4°C. Debit observasi di pos Nanjung secara umum memiliki pola yang hampir sama dengan pola hujan wilayah yang jatuh di DAS tersebut. Peningkatan nilai debit dan hujan terjadi pada bulan Oktober sampai April, sedangkan penurunannya terjadi pada bulan Juni sampai September (Gambar 4).



Gambar 4. Pola debit dan hujan bulanan observasi untuk periode 2006–2008

### Hasil Simulasi

Hasil kalibrasi model HBV yang dilakukan di DAS Citarum bagian hulu tahun 2006 sampai 2008 menunjukkan kinerja yang cukup baik dengan nilai NSE 0,63, nilai galat 11%, dan koefisien korelasi 0,8 (Gambar 5). Berdasarkan hasil kalibrasi, pola debit simulasi mirip dengan debit pengamatan, walaupun hasil simulasi belum dapat menggambarkan debit puncak yang hampir terjadi setiap tahun.

Gambar 5 menunjukkan nilai debit tertinggi selama periode pengukuran tahun 2006–2008 yang terjadi pada 28 April 2007, yaitu 447 m<sup>3</sup>/s. Sementara itu, hasil debit simulasi menunjukkan nilai yang lebih rendah, yaitu 160,4 m<sup>3</sup>/s. Nilai debit terendah terjadi pada 15 September 2007, yaitu 4,4 m<sup>3</sup>/s, sedangkan hasil simulasi sekitar 4,3 m<sup>3</sup>/s. Ini menunjukkan bahwa model kurang baik dalam menyimulasikan nilai debit tinggi, tetapi cukup baik untuk debit rendah.

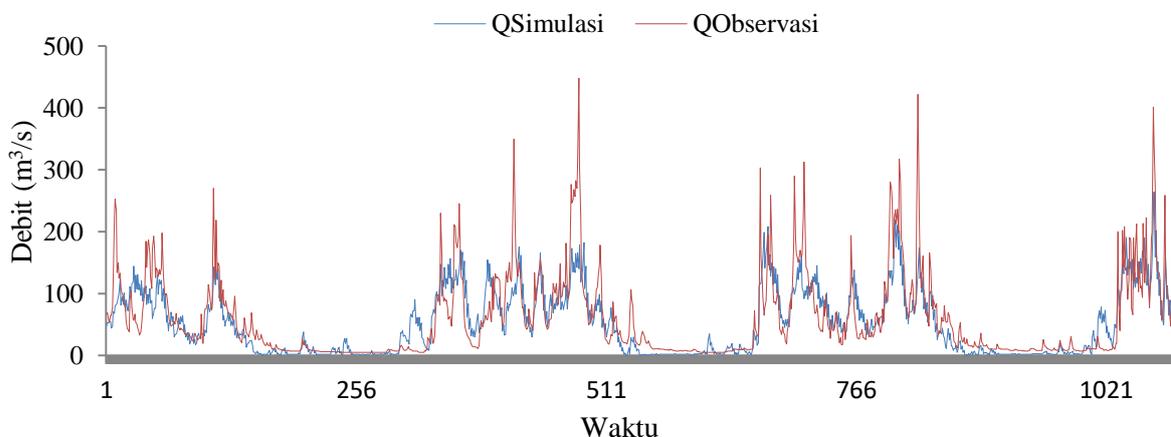
Kinerja model yang menurun pada saat validasi dilakukan (NSE = 0,53) dapat terjadi karena fluktuasi debit hasil observasi tahun 2010 memiliki pola yang berbeda dari tahun-tahun sebelumnya (Gambar 6). Fluktuasi atau variasi debit di suatu DAS, termasuk DAS Citarum hulu, disebabkan oleh interaksi yang rumit antara iklim, vegetasi, dan tanah (Zhou *et al.*, 2010). Hasil kajian Hidayat *et al.* (2013) yang didukung oleh Ardiansyah *et al.* (2013) telah membuktikan hal ini. Menurut Hidayat *et al.* (2013) variasi debit yang tinggi di Sungai Citarum bagian hulu disebabkan oleh variasi hujan yang tinggi di wilayah tersebut, dan ini

didukung oleh perubahan penggunaan lahan yang intensif di wilayah ini (Ardiansyah *et al.*, 2013).

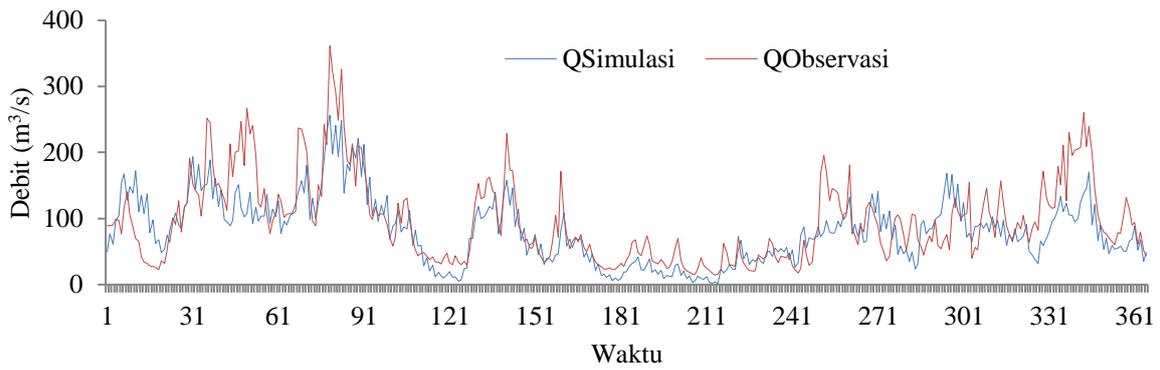
Model HBV merupakan model neraca air yang dikembangkan di wilayah subtropis dan memiliki 11 parameter. Aplikasi model ini di wilayah tropis menyebabkan dua buah parameter tidak disertakan, yaitu *threshold temperature* dan *degree day* yang menggambarkan proses pencairan dan akumulasi salju. Rentang parameter kalibrasi diperlihatkan dalam Tabel 1.

### Sensitivitas Parameter

Berdasarkan struktur model, maka parameter  $\beta$ , C, PWP, dan FC merupakan parameter yang memengaruhi tinggi-rendah limpasan langsung dan evapotranspirasi. Ketiga jenis parameter tersebut bertanggung jawab terhadap jumlah kandungan air di dalam lapisan tanah atas dan bawah dalam model HBV (*upper dan lower reservoir*). Parameter  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_{perc}$ , dan  $L_1$  secara langsung akan memengaruhi besar aliran permukaan. Analisis sensitivitas berdasarkan kinerja model (skala NSE) menunjukkan bahwa parameter FC,  $K_0$ ,  $K_1$ , dan  $K_{perc}$  memiliki nilai sensitivitas yang cukup tinggi (Gambar 7). Hal ini ditunjukkan oleh perubahan nilai fungsi objektif saat terjadi perubahan parameter dalam rentang 5–10%. Parameter  $L_1$  dan PWP yang merupakan ambang batas ketinggian volume air dalam tangki pertama adalah tidak sensitif karena kinerja model tetap sepanjang perubahan nilai parameter.



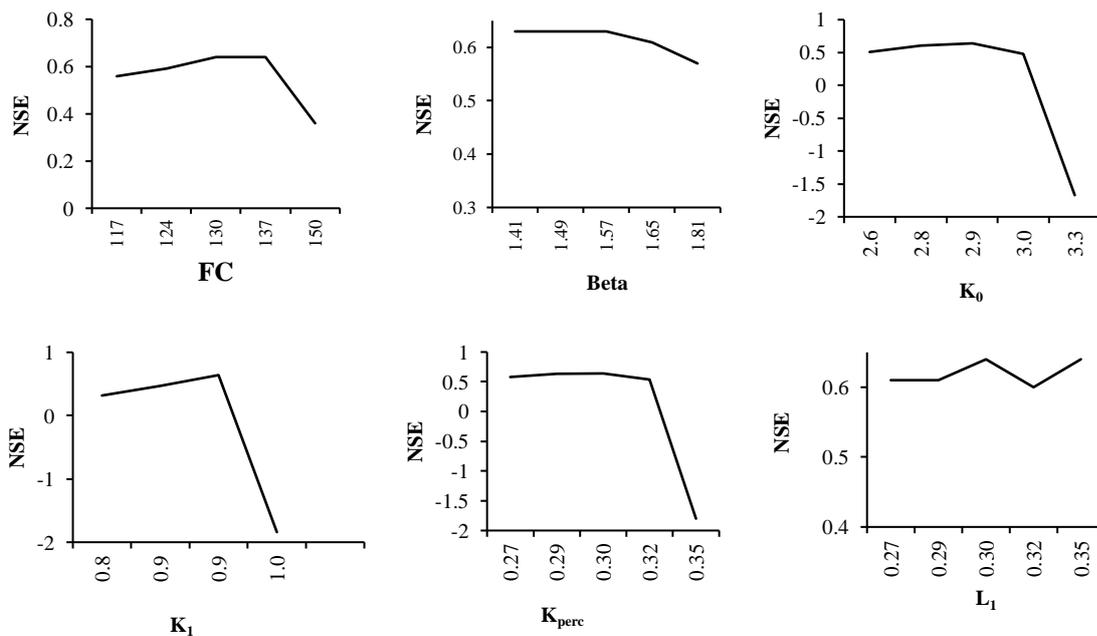
Gambar 5. Hasil simulasi model HBV tahun 2006–2008. Notasi angka 1 hingga 1081 merujuk pada urutan waktu pencatatan data debit observasi. Hari ke-1, 361, 721, dan hari ke-1081 secara berturut-turut merujuk pada tanggal 1 Januari 2006, 27 Desember 2006, 22 Desember 2007, dan 16 Desember 2008



Gambar 6. Hasil validasi model HBV tahun 2010. Notasi angka pada sumbu X merujuk pada tanggal (angka 1 bersesuaian dengan tanggal 1 Januari, sedangkan angka 361 berarti tanggal 27 Desember)

Tabel 1. Rentang nilai pamater model HBV

Parameter	Satuan	Rentang	Nilai optimum
<b>Soil and routine evaporation</b>			
Beta (Koefisien bentuk)	-	1,7–3,5	1,57
PWP (Titik layu permanen)	mm	70–100	90
FC (Kapasitas lapangan)	mm	120–250	130
<b>Groundwater and routine response</b>			
$K_0$ (Koefisien simpanan aliran permukaan)	hari <sup>-1</sup>	2,6–2,9	2,94
$L_1$ (Ambang batas ketinggian $K_0$ )	mm	0,001–3,5	0,34
$K_1$ (Koefisien simpanan aliran antara)	hari <sup>-1</sup>	0,9–1	0,94
$K_2$ (Koefisien simpanan aliran dasar)	hari <sup>-1</sup>	0,01–0,9	0,1
$K_{perc}$ (Koefisien simpanan perkolasi)	mm/hari	0,15–0,37	0,3
Nash-Sutcliffe		0,63	



Gambar 7. Plot sensitivitas parameter berdasarkan kinerja model

Analisis dampak sensitivitas parameter dilakukan dengan membagi parameter menjadi dua kelompok. Pertama, parameter yang berpengaruh pada proses evapotranspirasi dan kandungan air tanah, yaitu FC,  $\beta$ , dan PWP. Kedua, jenis parameter yang berpengaruh pada pembentukan aliran permukaan dan aliran dasar, yaitu  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ , dan  $K_{perc}$ .

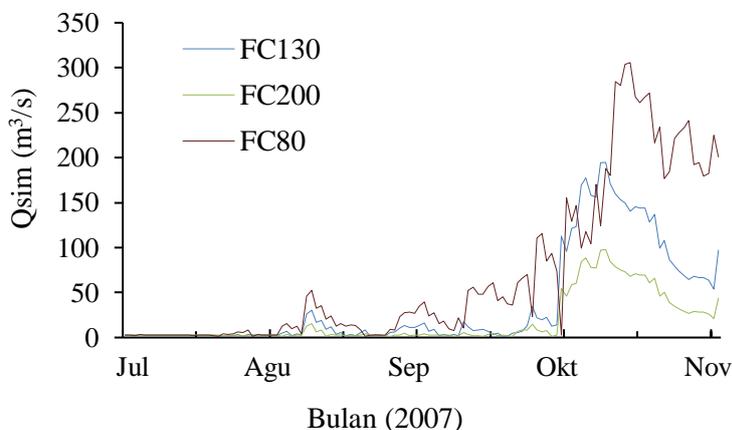
Nilai parameter yang paling sensitif di subkelompok pertama adalah FC, sedangkan PWP dan  $\beta$  tidak sensitif. Parameter  $\beta$  merupakan koefisien yang memengaruhi rasio antara presipitasi efektif dan jumlah total air yang tersedia untuk evapotranspirasi. Semakin besar nilai  $\beta$  maka koefisien alirannya akan semakin kecil. Parameter PWP berfungsi sebagai pembatas jumlah air dalam kelembapan tanah untuk evapotranspirasi. Saat kelembapan tanah lebih besar daripada PWP, maka jumlah evapotranspirasi aktual akan sama dengan evapotranspirasi potensial. Sebaliknya, jika kelembapan tanah lebih kecil daripada PWP, maka nilai evapotranspirasi aktual akan lebih kecil daripada nilai evapotranspirasi potensial. Oleh karena keduanya merupakan parameter yang tidak sensitif, maka ini tidak berpengaruh besar terhadap debit aliran total. Walaupun demikian, kedua parameter tersebut memengaruhi jumlah evapotranspirasi aktual pada penghitungan neraca air.

Pada formulasi model HBV, parameter FC berpengaruh dalam menentukan jumlah limpasan langsung (*direct runoff*); FC menunjukkan kemampuan tanah dalam menyerap air. Semakin besar nilai FC maka semakin rendah presipitasi total yang menjadi aliran permukaan. Ini berarti jumlah air yang dapat diserap oleh tanah semakin tinggi dan

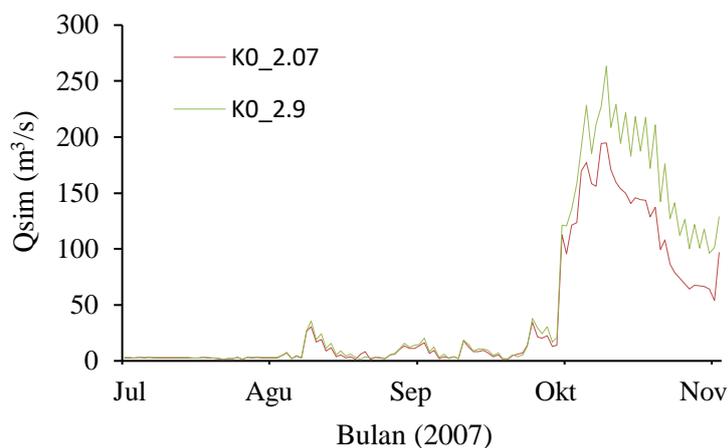
tersedia untuk proses evapotranspirasi. Jika nilai FC rendah maka semakin banyak presipitasi yang akan menjadi aliran permukaan (Gambar 8). Parameter FC memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan  $\beta$  dan PWP. Hal ini yang menyebabkan parameter FC berpengaruh dan mengontrol kesalahan volume limpasan pada model (Qsim).

Subkelompok parameter kedua yang memiliki nilai sensitivitas tinggi yaitu  $K_0$ ,  $K_1$ , dan  $K_{perc}$ , sedangkan parameter  $L_1$  dan  $K_2$  tidak sensitif.  $K_0$  merupakan parameter yang secara langsung memengaruhi besar aliran permukaan di suatu DAS (Gambar 9). Jumlah air akan menjadi aliran permukaan apabila kondisi tanah sudah jenuh dan ketinggian air dalam tangki pertama ( $S_1$ ) melebihi ketinggian ambang batas ( $L_1$ ) dalam menyimpan air (Persamaan 9). Artinya, tinggi-rendah aliran permukaan ditentukan oleh parameter  $L_1$ . Parameter  $L_1$  yang tidak sensitif menyebabkan proses pembentukan aliran lebih dipengaruhi oleh parameter  $K_0$ .  $K_1$  juga berperan dalam pembentukan aliran dekat permukaan, walaupun nilai  $K_1$  dibatasi harus lebih rendah daripada  $K_0$ .

Infiltrasi adalah aliran air masuk ke dalam tanah sebagai akibat gaya kapiler dan gravitasi. Setelah lapisan tanah bagian atas jenuh, kelebihan air tersebut akan mengalir ke bagian tanah yang lebih dalam sebagai akibat gaya gravitasi dan ini dikenal sebagai proses perkolasi. Menurut Asdak (2004), perkolasi merupakan proses kelanjutan dari infiltrasi. Proses infiltrasi dalam model HBV tidak diterangkan lebih detail, alasannya karena ini telah disederhanakan. Menurut Aghakouchak *et al.* (2013), infiltrasi dapat didekati dengan



Gambar 8. Pengaruh FC terhadap Qsim



Gambar 9. Pengaruh parameter  $K_0$  terhadap debit simulasi

konsep kelembapan tanah. Selanjutnya, parameter  $K_{perc}$  berfungsi untuk mendistribusikan volume air dari lapisan tanah atas (*upper reservoir*) menuju lapisan tanah bawah (*lower reservoir*). Ketika nilai perkolasi tinggi, maka volume air yang tersalurkan menuju reservoir yang lebih rendah akan semakin banyak. Namun,  $K_{perc}$  tidak secara langsung memengaruhi debit puncak, sehingga ini akan lebih banyak mengatur debit aliran rendah. Ini berarti, parameter  $K_{perc}$  memiliki pengaruh yang besar terhadap pendistribusian air antara lapisan tanah dan ini akan berdampak pada fluktuasi aliran permukaan.

Parameter  $K_0$ ,  $K_1$ , dan  $K_{perc}$  merupakan parameter yang sensitif dan secara langsung dapat memengaruhi besar total aliran di DAS. Ketiga parameter tersebut memiliki rentang nilai yang rendah (Tabel 1), sehingga nilainya lebih spesifik. Walaupun demikian, hal tersebut tetap tidak mengurangi ketidakpastian parameter, karena ketiganya merupakan parameter konseptual yang tidak dapat diukur nilainya.

Kalibrasi yang telah dilakukan pada proses simulasi ini menghasilkan satu set parameter terkalibrasi dan data hasil model yang mendekati data observasi. Nilai parameter terkalibrasi tersebut telah menghasilkan hasil model yang baik untuk satu kejadian tertentu. Namun, pada kejadian yang berbeda, model menunjukkan hasil yang kurang memadai meskipun nilai parameter yang digunakan adalah sama. Untuk simulasi jangka panjang, satu set parameter bukan hanya berbeda pada setiap kejadian, akan tetapi juga berubah sepanjang waktu bersamaan dengan perubahan

kondisi batas dan karakteristik proses (Wriedt & Rode, 2006).

## Kesimpulan

Model HBV yang digunakan untuk simulasi aliran di DAS Citarum hulu menunjukkan kinerja yang cukup baik, yaitu 0,63 dalam skala NSE, walaupun debit simulasi tidak mampu menggambarkan debit puncak observasi. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa parameter FC,  $K_0$ ,  $K_1$ , dan  $K_{perc}$  memiliki nilai sensitivitas yang cukup tinggi, sedangkan  $L_1$  dan  $K_2$  tidak sensitif. FC merupakan parameter yang memengaruhi volume debit. Parameter  $K_0$  dan  $K_1$  berpengaruh pada penentuan titik puncak debit simulasi, sedangkan parameter  $K_{perc}$  berpengaruh terhadap pendistribusian antara aliran permukaan dan aliran dasar.

## Ucapan Terima Kasih

Penghargaan penulis berikan kepada BBWS Citarum dan Puslitbang Sumber Daya Air atas pemberian data untuk menyelesaikan studi ini.

## Referensi

Aghakouchak A dan Habib E. 2010. Application of a Conceptual Hydrologic Model in Teaching Hydrologic Processes. *Int. J. Eng Ed.* 26(4): 963–973

- Aghakouchak, Nakhjiri N, Habib E. 2013. An educational model for ensemble streamflow simulation and uncertainty analysis. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences* 7: 445–452
- Ardiansyah M, Wardana IA, Tasha K, Boer R. 2013. Land use and land use change projection of Citarum River Basin. Di dalam: Integrated climate change mitigation and adaptation strategy for the Citarum River Basin (Package E). Kerjasama: CCROM-SEAP, Bogor Agricultural University; AECOM; ADB; Agency for Environmental Management of West Java Province; dan Ministry of Environment, Republic of Indonesia
- Asdak C. 2004. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press
- Bappeda Jawa Barat. 2012. Prospektus Pengembangan Metropolitan di Jawa Barat
- BPDAS Citarum-Ciliwung. 2010. Rencana Pengelolaan DAS Terpadu Citarum Hulu. Bogor (ID): Direktorat Jenderal Perhutanan Sosial dan Pengelolaan. Kementerian Kehutanan
- Bergström S. 1992. The HBV model - its structure and applications. SMHI Reports RH, No. 4: Norrköping
- Hidayat Y, Martilaksono K, Wahjunie ED, Panuju DR. 2013. Pencirian debit aliran Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Ilmu Pengetahuan Indonesia* 2: 109–114
- Lindström G, Johansson B, Persson M, Gardelin M, Bergström S. 1997. Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. *Journal of Hydrology* 201: 272–288
- Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL. 2007. Model Evaluation Guidelines For Systematic Quantification Of Accuracy In Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 20(3): 885–900
- Renner CB, Braun L. 1990. The application of the HBV3-ETH (V 3.0) rainfall-runoff model to different basin in Switzerland. Geographisches Institut ETH, Berichte und Skripten Nr 40, Zurich
- Seibert J. 1997. Estimation of parameter uncertainty in the HBV model. *Journal Nordic Hydrology* 28: 247–262
- Seibert J. 2005. HBV Light, Version 2 – User’s Manual. 2005. Department of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm University
- Seibert J, Vis MJP. 2012. Teaching hydrological modeling with a user-friendly catchment-runoff-model software package. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16: 3315–3325
- Wegener T, Camacho LA, Wheater HS. 2002. Dynamic identifiability analysis of the transient storage model for solute transport in rivers. *Journal of Hydroinformatics* 4: 199–211
- Wriedt G, Rode M. 2006. Investigation of parameter uncertainty and identifiability of the hydrological model WaSiM-ETH. *Advances in Geosciences* 9: 145–150
- Zhou G, Wei X, Luo Y, Zhang M, Li Y, Qiao Y, Liu H, Wang C. 2010. Forest recovery and river discharge at the regional scale of Guangdong Province, China. *Water Resource Research* 46: 1–10