

PENGGUNAAN MODEL HIDROLOGI DI SUB DAS CILIWUNG HULU

Use of Hydrology Model In Upstream Ciliwung Watershed

Rahmah Dewi Yustika¹⁾, Suria Darma Tarigan²⁾, Yayat Hidayat²⁾ dan Untung Sudadi²⁾

1)Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar no.12 Cimanggu Bogor

2)Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

E-mail: rd_yustika@litbang.deptan.go.id

(Makalah diterima, 18 November 2013 – Disetujui, 28 November 2014)

ABSTRAK

Daerah Aliran Sungai (DAS) memiliki komponen-komponen hidrologi yang kompleks dan mungkin sulit untuk dipahami secara keseluruhan. Penggunaan model sebagai suatu penyederhanaan dari realitas yang sebenarnya diperlukan untuk membantu dalam memprediksi proses yang terjadi di dalam DAS. SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) merupakan suatu model yang dapat memperkirakan kondisi hidrologi disimulasikan pada suatu DAS. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa model SWAT dalam memprediksi hidrologi debit aliran di sub DAS Ciliwung Hulu dengan melakukan kalibrasi. Metode yang digunakan meliputi pengolahan data dan kalibrasi model. Penelitian dilaksanakan dari bulan Juni 2011 sampai dengan Juni 2012. Kalibrasi model SWAT dengan menggunakan data debit bulan Februari dan Maret 2008 dan 2009 di sub DAS Ciliwung Hulu memberikan nilai korelasi R 0,80 dan NSE 0,55. Nilai ini menunjukkan bahwa model ini bisa digunakan untuk memprediksi hidrologi di sub DAS Ciliwung Hulu. Prediksi hidrologi dapat digunakan sebagai dasar dalam manajemen lahan sehingga lahan pertanian dapat *sustainable*.

Kata kunci: Debit aliran, Kalibrasi, Simulasi, Sub DAS Ciliwung Hulu, SWAT

ABSTRACT

A watershed has complex hydrological components and may be difficult to understand comprehensively. Modelling can be used to simplify and predict the processes which will happen. SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) is a model which can predict hydrology and simulate various processes in watershed. The objective of this research was: to analyse performance of SWAT model which predict discharge flow in upper Ciliwung watershed through calibration. Methods applied included analysis of the input data and calibration. The research was conducted in the period of June 2011 until June 2012. Based on the data of daily discharge flow in February and March 2008 and 2009, the calibration results showed values of R 0,80 and NSE 0,55. These results described that SWAT model can be used to predict hydrological processes in upper Ciliwung watershed. Prediction of hydrology could be used as the base to manage land agriculture towards sustainable agriculture.

Key words: Calibration, Discharge Flow, Upper Ciliwung Watershed, SWAT

PENDAHULUAN

Pengelolaan lahan Darah Aliran Sungai (DAS) bagian hulu pada saat ini dapat dikatakan masih belum berkelanjutan. Hal ini antara lain dicirikan oleh terjadinya konversi lahan dari lahan pertanian ke penggunaan non pertanian, peningkatan aliran permukaan dari tahun ke tahun, semakin tingginya perbedaan debit sungai antara musim penghujan dan musim kemarau dan terjadinya peningkatan erosi. Faktor yang menyebabkan terjadinya konversi lahan adalah faktor fisik lahan, sosial ekonomi masyarakat, pesatnya pembangunan yang menuntut dibangunnya infrastruktur dan tingginya kebutuhan akan perumahan.

Debit aliran merupakan parameter yang dapat menggambarkan kondisi dari suatu DAS dan potensi sumberdaya air yang dapat dimanfaatkan dari suatu DAS. Debit aliran dapat memprediksi ketersediaan air untuk pengaturan tata air untuk bermacam aktivitas. Kegiatan PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), irigasi, penyediaan air domestik, dan industri tergantung kepada jumlah dari debit aliran sungai.

DAS memiliki komponen-komponen hidrologi yang kompleks dan mungkin sulit untuk dipahami secara keseluruhan. Penggunaan model sebagai suatu penyederhanaan dari realitas yang sebenarnya diperlukan untuk membantu dalam memprediksi proses yang terjadi dan membuat suatu perencanaan pengelolaan lahan di dalam suatu DAS. Terdapat berbagai model untuk mengetahui respon hidrologi yaitu *Water Erosion Prediction Project/WEPP* (Flanagan *et al.*, 2007), *Agricultural Non Point Source Pollution/AGNPS* (Young *et al.*, 1989), *ANSWERS* (Beasley *et al.*, 1980). Selain itu terdapat SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) yang

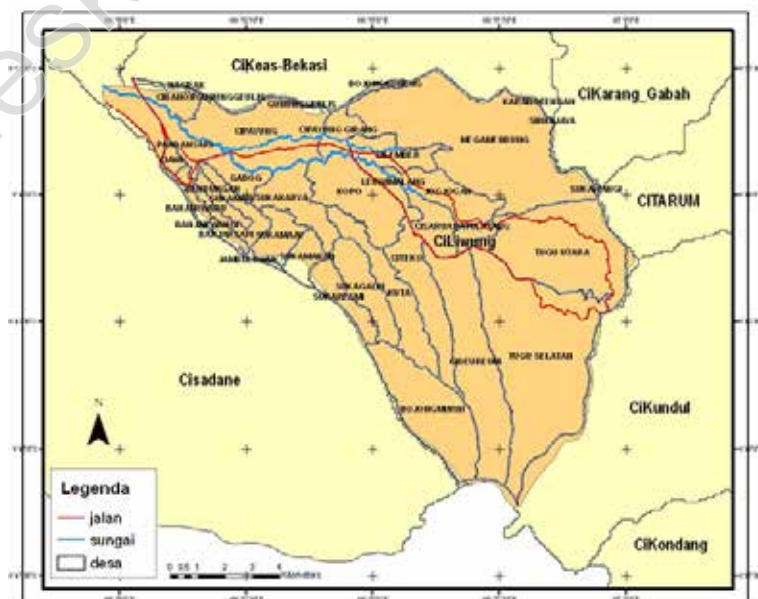
merupakan suatu model yang dapat digunakan untuk mengetahui proses hidrologi (Neitsch *et al.*, 2005) dalam skala *catchment* dan memprediksi pengaruh manajemen pengelolaan lahan.

Dalam penggunaannya komponen model SWAT mencakup iklim, hidrologi, temperatur tanah, sifat-sifat tanah, pertumbuhan tanaman, hara, pestisida, bakteri, dan manajemen lahan. Berbagai hasil penelitian menyebutkan bahwa model SWAT dapat diaplikasikan dalam memprediksi hidrologi dalam skala DAS. Rossi *et al.* (2008) melakukan kalibrasi pada DAS Leon River dan menghasilkan nilai NSE yang termasuk kategori baik sampai sangat baik. Hasil penelitian Yusuf (2010) di DAS Cirasea menghasilkan nilai kalibrasi NSE sebesar 0,737 dan Junaedi (2009) di DAS Cisadane menghasilkan nilai kalibrasi NSE sebesar 0,7. Nilai tersebut menunjukkan bahwa SWAT juga dapat diterapkan untuk memprediksi hidrologi DAS di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa model SWAT dalam memprediksi hidrologi debit aliran di sub DAS Ciliwung Hulu dengan melakukan kalibrasi.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di sub DAS Ciliwung Hulu yang terletak pada posisi geografis 6°37' - 6°46' LS dan 106°50' - 107°00' BT dengan luasan 14.325,8 ha. Secara administratif, lokasi sub DAS Ciliwung Hulu meliputi 5 wilayah kecamatan yaitu Bogor Timur, Ciawi, Sukaraja, Megamendung, dan Cisarua. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Bahan dan Alat

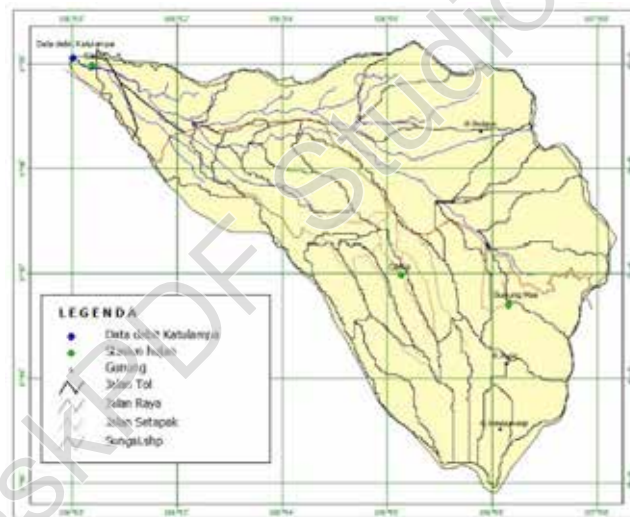
Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Penggunaan data iklim harian tahun 2006-2011 meliputi penyinaran matahari, temperatur, dan kecepatan angin yang diperoleh dari Balai Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah II Citeko. Selain itu digunakan data curah hujan harian tahun 2006-2011 stasiun Citeko, Gunung Mas, dan Gadog yang diperoleh dari Balai Pendayagunaan Sumberdaya Air Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Darmaga (Gambar 2). Koleksi data peta DEM (*Digital Elevation Model*) menggunakan resolusi spasial 30x30 m.

Informasi lahan menggunakan peta penggunaan lahan tahun 2010. Penggunaan lahan yang terdapat di sub DAS Ciliwung Hulu (Gambar 3) adalah kebun campuran (38%), hutan sekunder (19,9%), tegalan/ladang (17%), perkebunan (15,5%), permukiman (7,0%), hutan primer (1,8%), semak/belukar (0,7%), dan tanah terbuka (0,1%).

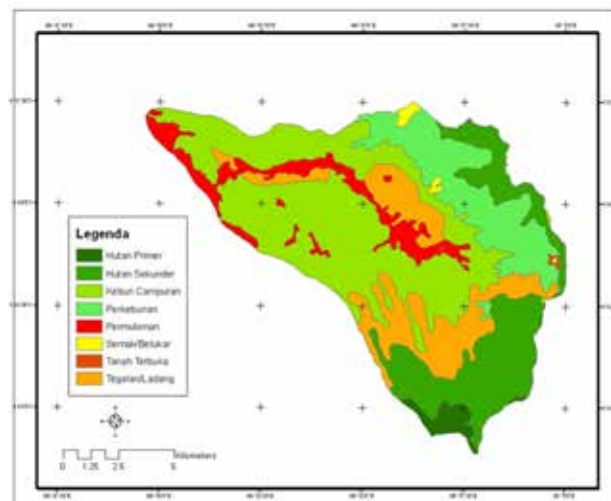
Terdapat 10 jenis tanah di sub DAS Ciliwung Hulu berdasarkan peta tanah semi detil skala 1:50000

Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat (1992) yaitu Asosiasi *Andic Humitropepts-Typic Dystropepts*, Asosiasi *Typic Hapludands-Typic Tropopsamments*, Asosiasi *Typic Humitropepts-Typic Eutropepts*, Kompleks *Typic Tropopsamments-Lithic Troporthents*, Kompleks *Typic Troporthents-Typic Fluvaquents*, Konsosiasi *Typic Dystropepts*, Konsosiasi *Typic Eutropepts*, Konsosiasi *Typic Hapludands*, Konsosiasi *Typic Hapludults*, dan Konsosiasi *Typic Humitropepts*. Sub DAS Ciliwung Hulu didominasi oleh Asosiasi *Typic Hapludands-Typic Tropopsamments* (23,3%), diikuti Asosiasi *Andic Humitropepts-Typic Dystropepts* (19,0%), dan Konsosiasi *Typic Hapludands* (15,9%). Selain itu data sifat tanah diperoleh dari hasil pengambilan contoh tanah dan literatur (Soekardi dan Djaenudin, 1987; Subardja dan Burman, 1980).

Data pendukung lainnya yaitu data debit harian tahun 2006-2011 pada *outlet* Katulampa di sub DAS Ciliwung Hulu diperoleh dari Balai Pendayagunaan Sumberdaya Air Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane. Dalam analisis data, digunakan *software* ArcSWAT ver 2009.93.7b, SWAT CUP 4.3.7, dan *SWAT Plot and Graph*.



Gambar 2. Peta lokasi stasiun hujan dan data debit



Gambar 3. Peta penggunaan lahan sub DAS Ciliwung Hulu Tahun 2010

Metode

Pengolahan data input spasial membutuhkan data DEM, batas DAS, dan jaringan sungai yang dilakukan untuk membuat *watershed delineator* (delineasi DAS). Dari hasil delineasi, sub DAS Ciliwung Hulu terbagi ke dalam 28 sub sub DAS. Pembuatan HRU (*Hydrologi Response Unit*) membutuhkan data *input* penggunaan lahan, tanah, dan lereng. Dari hasil *overlay* didapatkan informasi spesifik mengenai lahan tersebut yang mencakup penggunaan lahan, jenis tanah, dan kemiringan lereng. Kemudian dilakukan input data iklim, membangun input data, dan *run model* SWAT. Hasil dari simulasi *run model* dapat dilihat pada menu *Read SWAT Output* atau menggunakan *SWAT Plot and Graph*.

Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan data debit harian observasi dan simulasi bulan Februari - Maret tahun 2008 dan 2009. Proses kalibrasi menggunakan parameter-parameter yang memiliki pengaruh terhadap kondisi hidrologi sub DAS Ciliwung Hulu. Metode statistik yang digunakan adalah korelasi koefisien Pearson (R) dan NSE (*Nash Sutcliffe Efficiency*). Nilai R berkisar antara 0 sampai dengan 1. Nilai R mendekati 1 menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang erat antara data simulasi dengan data observasi. *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE) merupakan suatu model statistik yang menunjukkan besar dari pengaruh hubungan data simulasi dan data observasi. Nilai NSE berkisar antara 0 dan 1, yang mana nilai mendekati 1 menunjukkan bahwa performa dari suatu model yang baik. Kriteria nilai statistik untuk NSE disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Nilai Statistik NSE

Kriteria	NSE
Sangat baik	0,75<NSE<1,00
Baik	0,65<NSE<0,75
Memuaskan	0,50<NSE<0,65
Kurang memuaskan	NSE≤0,50

Sumber: Moriassi et al. (2007)

Tabel 2. Parameter Sensitif Terhadap Debit Aliran dalam Model SWAT

No	Parameter	Nilai awal
1	CN2.mgt (bilangan kurva aliran permukaan)	25-74
2	ALPHA_BF.gw (faktor alpha aliran dasar)	0,94
3	GW-DELAY.gw (lama 'delay' air bawah tanah)	31
4	GWQMN.gw (ketinggian minimum aliran dasar)	350
5	GW_REVAP.gw (koefisien <i>revap</i> air bawah tanah)	0,2
6	RCHRG_DP.gw (fraksi perkolasi perairan dalam)	0,05
7	ESCO.hru (faktor evaporasi tanah)	1
8	EPCO.hru (faktor <i>uptake</i> tanaman)	1
9	CH_N2.rte (nilai Manning untuk saluran utama)	0,1
10	CH_K2.rte (hantaran hidrolis)	25
11	ALPHA_BNK.rte (faktor alpha aliran dasar 'bank storage')	0,94
12	SURLAG.bsn (koefisien <i>lag</i> aliran permukaan)	3

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameterisasi Model SWAT

Parameter yang digunakan dalam proses kalibrasi suatu model dapat berbeda antar suatu DAS karena setiap DAS memiliki karakteristik tersendiri yang bervariasi. Nilai parameter simulasi disesuaikan untuk menghasilkan keluaran yang mendekati nilai yang adaptif di lapangan. Respon hidrologi tergantung kepada iklim, penggunaan lahan dan vegetasi (Nunes et al.,2011), kemiringan lahan (Koulouri dan Giourga, 2007), dan keadaan geografi (Schoeneberger dan Wysocki, 2005). Parameter *input* dalam model SWAT yang dominan berpengaruh terhadap respon hidrologi dapat berbeda pada berbagai DAS. Santhi et al.(2006) menyatakan bahwa parameter yang sensitif terhadap perubahan debit yaitu CN2, ESCO, EPCO, GW_REVAP, GWQMN, dan RCHRG_DP, sedangkan Jha et al. (2010) mengemukakan bahwa parameter yang sensitif terhadap nilai debit adalah CN, SOLAWC, GW_DELAY, GW_Alfa, dan SURLAG. Parameter yang digunakan dalam proses kalibrasi pada sub DAS Ciliwung Hulu (Tabel 2) yaitu bilangan kurva aliran permukaan (CN), faktor alpha aliran dasar (ALPHA_BF), lama 'delay' air bawah tanah (GW_DELAY), ketinggian minimum aliran dasar (GWQMN), koefisien *revap* air bawah tanah (GW_REVAP), fraksi perkolasi perairan dalam (RCHRG_DP), faktor evaporasi tanah (ESCO), faktor *uptake* tanaman (EPCO), nilai *Manning* untuk saluran utama (CH_N2),

hantaran hidrolis pada saluran utama aluvium (CH_K2), faktor alpha aliran dasar untuk 'bank storage' (ALPHA_BNK), dan koefisien lag aliran permukaan (SURLAG).

Parameter bilangan kurva aliran permukaan, faktor evaporasi tanah, dan faktor uptake tanaman digunakan dalam kalibrasi model karena mempunyai pengaruh terhadap jumlah aliran permukaan. Besaran nilai bilangan kurva dapat memprediksi jumlah aliran permukaan atau infiltrasi akibat curah hujan. Faktor evaporasi tanah merupakan parameter yang menentukan jumlah air dalam tanah yang akan mempengaruhi bilangan kurva aliran permukaan dan proses infiltrasi yang terjadi. Faktor uptake tanaman mempunyai pengaruh terhadap aliran permukaan karena kemampuan akar tanaman yang dapat menyerap air dan mempunyai pengaruh terhadap transpirasi sehingga dengan demikian memiliki dampak terhadap kelembaban tanah.

Parameter alpha aliran dasar, lama 'delay' air bawah tanah, koefisien revap air bawah tanah, ketinggian minimum aliran dasar, dan fraksi perkolasi perairan dalam digunakan karena mempengaruhi aliran air bawah tanah. Selain itu parameter nilai Manning untuk saluran utama, hantaran hidrolis pada saluran utama aluvium, faktor alpha aliran dasar untuk 'bank storage', dan koefisien lag aliran permukaan digunakan dalam proses kalibrasi karena juga mempengaruhi hidrologi suatu daerah.

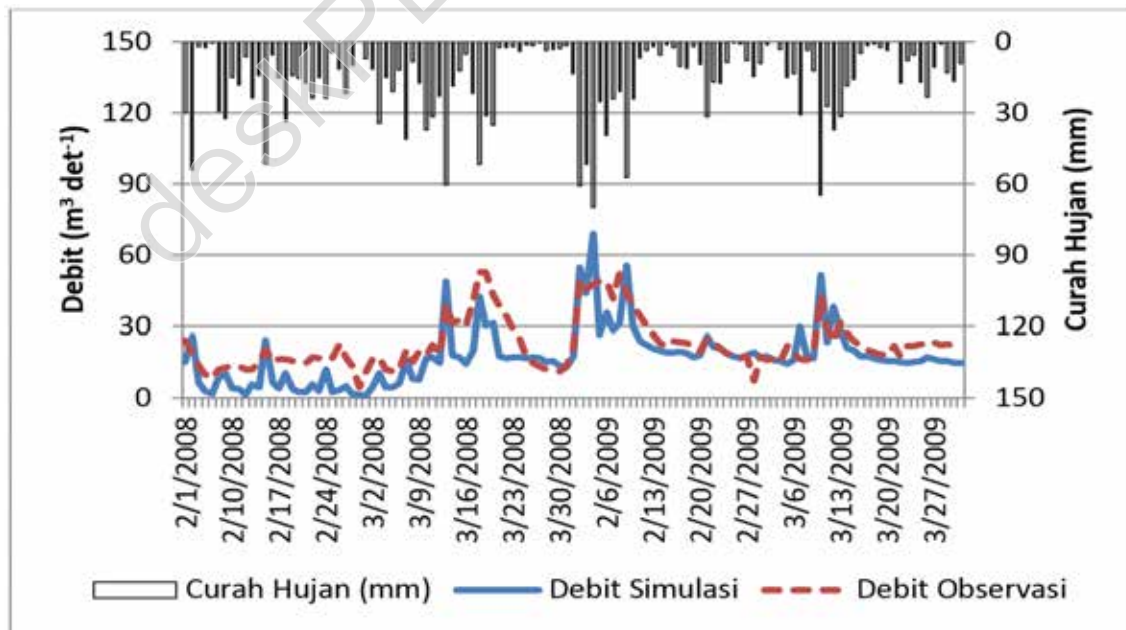
Kalibrasi Debit Aliran

Evaluasi statistik model didasarkan pada nilai koefisien korelasi Pearson (R) dan NSE. Pada Gambar 4 disajikan

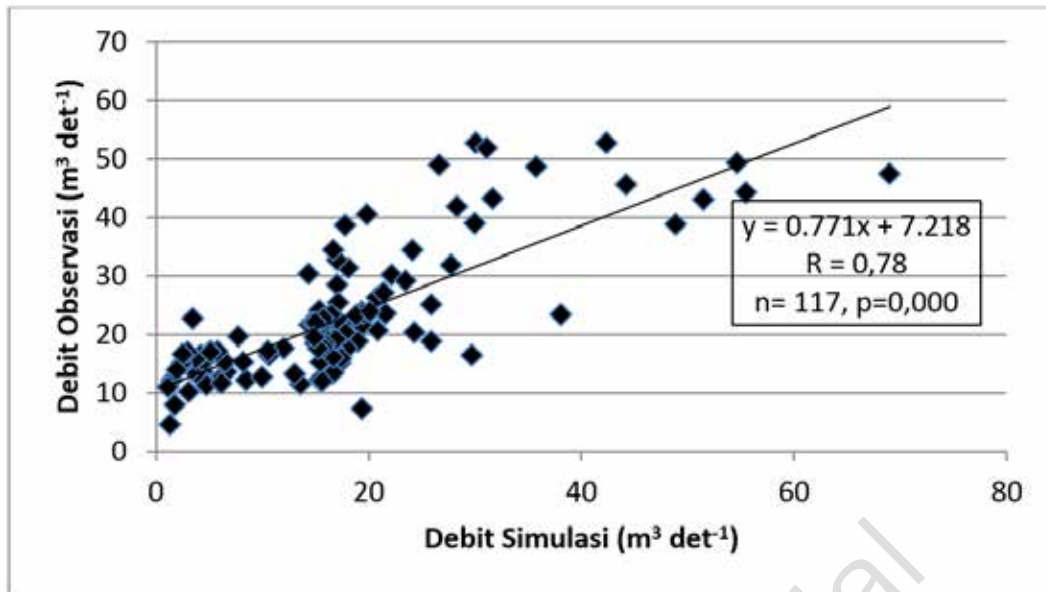
grafik hidrograf aliran simulasi sebelum kalibrasi dan hidrograf observasi (bulan Februari-Maret tahun 2008 dan 2009). Terlihat bahwa rata-rata grafik debit simulasi berada di bawah grafik observasi (*under predicted*). Nilai R (Gambar 5) dan NSE sebelum dilakukan kalibrasi adalah 0,78 dan 0,27 (kurang memuaskan).

Kalibrasi merupakan suatu pengujian model untuk mengetahui apakah model yang digunakan dapat menggambarkan kondisi sebenarnya. Kalibrasi model dilakukan dengan cara membandingkan data hasil simulasi dengan data observasi. Kalibrasi model dilakukan dengan cara mengubah nilai parameter-parameter yang bersifat sensitif dan mempunyai pengaruh besar terhadap proses hidrologi yang diukur.

Metode kalibrasi ada tiga yaitu coba-coba, otomatis, dan kombinasi. Dalam metoda coba-coba, nilai parameter dicocokkan secara manual dengan cara coba-coba. Metoda ini banyak digunakan dan direkomendasikan untuk model yang kompleks. Metoda otomatis menggunakan algoritma untuk menentukan nilai fungsi objektif dan digunakan untuk mencari kombinasi dan permutasi parameter dengan tingkat keakuratan yang optimum. Metoda kombinasi dilakukan dengan menggunakan kalibrasi otomatis untuk menentukan kisaran parameter selanjutnya dilakukan *trial and error* untuk menentukan detail kombinasi yang optimal (Indarto, 2012). Metoda kalibrasi yang digunakan pada penelitian di sub DAS Ciliwung Hulu adalah kombinasi yang mana parameter nilai CN ditentukan secara coba-coba sedangkan yang lainnya dilakukan dengan menggunakan kalibrasi otomatis (SWATCUP). Parameter masukan kalibrasi yang digunakan disajikan pada Tabel 3.



Gambar 4. Hidrograf aliran simulasi sebelum kalibrasi dan hidrograf observasi (bulan Februari-Maret tahun 2008 dan 2009)



Gambar 5. Debit harian simulasi sebelum kalibrasi dan debit harian observasi (bulan Februari-Maret tahun 2008 dan 2009).

Tabel 3. Parameter Masukan Kalibrasi

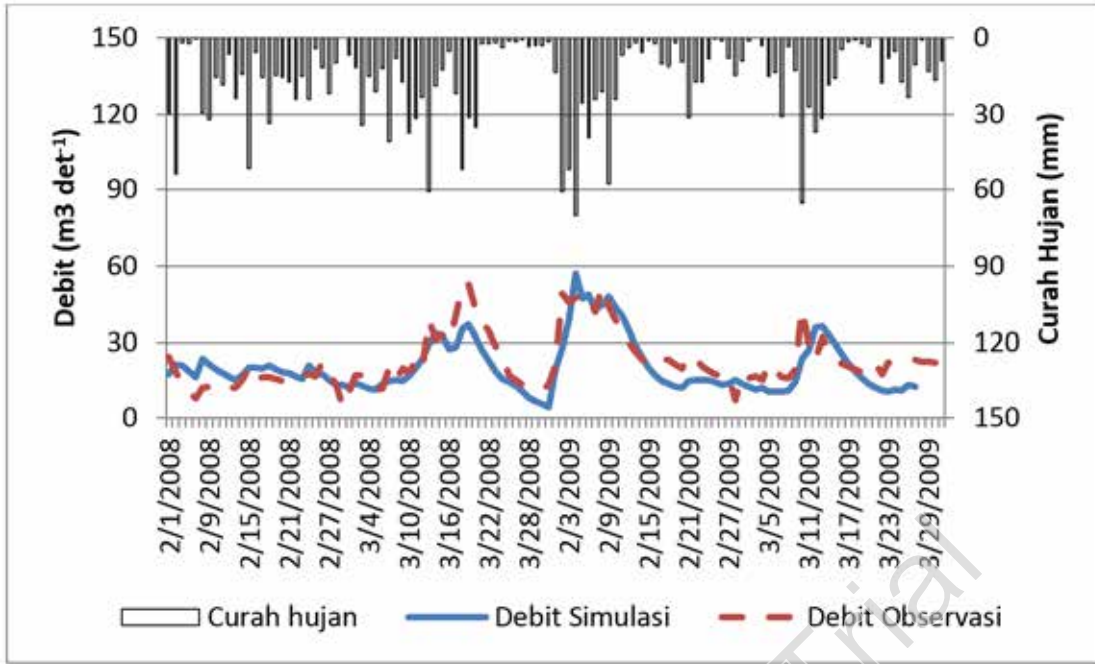
No	Parameter	Nilai yang digunakan	Nilai minimum	Nilai maksimum
1	CN2.mgt	x1,4 & x 1,3		
2	ALPHA_BF.gw	0,57	0,28	0,95
3	GW-DELAY.gw	16,09	10,12	61,30
4	GWQMN.gw	397,97	389,02	465,74
5	GW_REVAP.gw	0,04	0,036	0,07
6	RCHRG_DP	0,28	0,22	0,37
7	ESCO.hru	0,87	0,61	0,91
8	EPCO.hru	0,68	0,59	0,81
9	CH_N2.rte	0,19	0,16	0,23
10	CH_K2.rte	245,01	236,96	253,62
11	ALPHA_BNK.rte	0,57	0,20	0,57
12	SURLAG.bsn	3,74	3,00	4,00

Keterangan: CN2 = nilai eksisiting x1,4 (hutan primer, hutan sekunder, kebun campuran, tegalan)
 = nilai eksisiting x1,3 (permukiman, perkebunan)

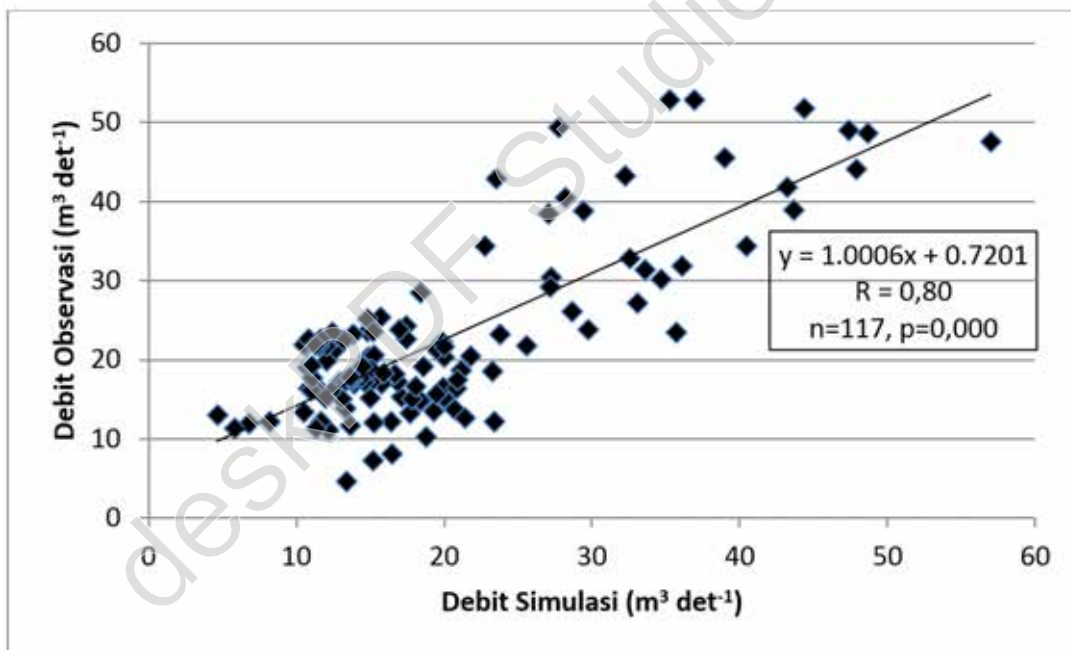
Pada Gambar 6 disajikan grafik hidrograf aliran simulasi setelah kalibrasi (dengan menggunakan nilai parameter yang telah dipilih) dan hidrograf observasi (bulan Februari-Maret tahun 2008 dan 2009). Hasil dari nilai kalibrasi memberikan nilai R menjadi 0,80 (Gambar 7) dan NSE 0,55 (memuaskan). Berdasarkan nilai tersebut, maka model SWAT cukup akurat untuk dipergunakan dalam memprediksi debit aliran.

Debit aliran merupakan laju aliran air yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu (Asdak, 2002). Tinggi rendahnya debit aliran dapat dipengaruhi oleh konversi penggunaan lahan.

Penggundulan hutan dapat menyebabkan keseimbangan hidrologi dalam suatu DAS terganggu karena hutan dapat berfungsi sebagai pengatur tata air agar yang dapat menyerap dan melepaskan air (Purwanto dan Ruijter, 2004). Penurunan luas lahan pertanian dan hutan serta peningkatan luas lahan terbangun dapat meningkatkan debit puncak hidrograf pada stasiun Katulampa, sub DAS Ciliwung Hulu (Fakhrudin, 2003). Intensitas curah hujan yang turun menentukan besar debit aliran sungai karena aliran permukaan dari air hujan yang jatuh akan menuju sungai dan selanjutnya mempengaruhi debit aliran.



Gambar 6. Hidrograf aliran simulasi setelah hasil kalibrasi dan hidrograf observasi (bulan Februari-Maret tahun 2008 dan 2009).



Gambar 7. Debit harian simulasi setelah kalibrasi dan dan debit harian observasi (bulan Februari-Maret tahun 2008 dan 2009)

Pengukuran debit aliran pada suatu kawasan dapat digunakan untuk mengetahui kapasitas DAS dan sebagai acuan dalam perencanaan dan pengelolaan sumberdaya air. Besaran debit diperoleh dari data tinggi muka air dengan menggunakan persamaan *rating curve* yang berlaku di lokasi tersebut.

Nilai kalibrasi yang cukup akurat (nilai R menjadi 0,80 dan NSE 0,55) menunjukkan bahwa model SWAT dapat diaplikasikan untuk memprediksi hidrologi di daerah sub DAS Ciliwung Hulu. Alih fungsi lahan yang terjadi

di sub DAS Ciliwung Hulu terjadi secara cepat seiring dengan pertumbuhan pembangunan, terlebih memiliki jarak lokasi yang relatif tidak jauh dari ibukota Jakarta. Alih fungsi lahan yang terjadi di sub DAS Ciliwung Hulu dapat disimulasikan untuk mengetahui kondisi hidrologi akibat alih fungsi sehingga dapat dilakukan manajemen lahan sebagai langkah antisipasi kejadian banjir di daerah hilir. Penggunaan model SWAT juga dapat digunakan untuk memberikan informasi mengenai ketersediaan air sehingga dapat dilakukan prediksi tata

kelola irigasi. Pembagian air diatur secara optimal sesuai dengan luasan lahan pertanian dan terdapat pembagian awal musim tanam sehingga tanaman mendapatkan kebutuhan air sesuai dengan pertumbuhannya. Melalui prediksi manajemen lahan diharapkan lahan pertanian dapat *sustainable* melalui penerapan *Best Management Practices*.

KESIMPULAN

Hasil kalibrasi yang menghasilkan nilai korelasi R 0,80 dan NSE 0,55 menunjukkan model SWAT dapat digunakan untuk melakukan prediksi debit aliran di Sub DAS Ciliwung Hulu. Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan parameter yang sensitif terhadap debit aliran. Dengan mengetahui performa model SWAT maka dapat dilakukan prediksi simulasi manajemen penggunaan lahan untuk mendapatkan pengelolaan lahan terbaik (*Best Management Practices*) yang mendukung lingkungan yang lestari dengan menerapkan prinsip-prinsip pertanian ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta.: Gajah Mada University press.
- Beasley, D. B., L.F Huggins, and E.J Monke. 1980. ANSWERS: A model for watershed planning. Trans. of the ASAE 23(4): 938-944.
- Fakhrudin, M. 2003. Kajian respon hidrologi akibat perubahan penggunaan lahan DAS Ciliwung dengan model Sedimot II. Tesis. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Flanagan, D.C., J.E Gilley, and T.G Franti. 2007. Water Erosion Prediction Project (WEPP): Development history, model capabilities, and future enhancements. American Society of Agricultural and Biological Engineers 50(5): 1603-1612.
- Indarto. 2012. *Hidrologi, Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Jha, M.K., K.E Schilling, P.W Gassman, and C.F Wolter. 2010. Targeting land use change for nitrate-nitrogen load reductions in an agricultural watershed. J. of Soil and Water Conservation 65 (6): 342-352.
- Junaedi, E. 2009. Kajian Berbagai Alternatif Perencanaan Pengelolaan DAS Cisadane Menggunakan Model SWAT. Tesis. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Koulouri, M, and C. Giourga. 2007. Land abandonment and slope gradient as key factors of soil erosion in Mediterranean terrace lands. Catena 69: 274-281.
- Moriasi, D.N., J.G Arnold, M.W Van Liew, R.L Bingner, R.D Harmel, and T.L Veith. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers 50(3): 885-900.
- Neitsch, S.L., J.G Arnold, J.R Kiniry, and J.R Williams. 2005. *Assessment Tool Theoretical Documentation*. Version 2005. Temple, Texas. Grassland, Soil and Water Research Laboratory. Agricultural Research Service.
- Nunes, A.N., A.C Almeida, and C.O.A Coelho. 2011. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. Applied Geography 31: 687-699.
- Purwanto, E, dan J. Ruijter. 2004. Hubungan antara hutan dan fungsi Daerah Aliran Sungai. *Dalam: Agus F, van Noordwijk M, dan Rahayu S (Eds.). Dampak Hidrologis Hutan, Agroforestri, dan Pertanian Lahan Kering Sebagai Dasar Pemberian Imbalan Kepada Penghasil Jasa Lingkungan di Indonesia*. Prosiding Lokakarya di Padang/Singkarak, Sumatera Barat, Indonesia, 25-28 Februari 2004. ICRAF-SEA, Bogor, Indonesia. hlm 1-22.
- Rossi, C.G., T.J Dybala, D.N Moriasi, J.G Arnold, C. Amonett, and T. Marek. 2008. Hydrologic calibration and validation of the Soil and Water Assessment Tool for the Lion River Watershed. J. of Soil and Water Conservation 63 (6): 533-541.
- Santhi, C., R. Srinivasan, J.G Arnold, and J.R Williams. 2006. A modelling approach to evaluate the impacts of water quality management plans implemented in a watershed in Texas. Environmental Modelling & Software. 21: 1141-1157.
- Schoeneberger, P.J. and Wysocki DA. 2005. Hydrology of soils and deep regolith: A nexus between soil geography, ecosystems and land management. Geoderma 126: 117-128.
- Soekardi, M, dan D, Djaenudin. 1987. Hubungan perkembangan tanah dengan daya dukungnya: Kasus daerah antara Puncak dan Jakarta. *Pembrit Tanah dan Pupuk* 7: 24-30.
- Subardja, dan P. Buurman. 1980. A toposequence of Latosols on volcanic rocks in the Bogor-Jakarta area. *Dalam: Buurman P (Ed.). Red Soils in Indonesia*. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation. pp. 25-48.
- Young, R.A, C.A Onstad, D.D Bosch, and W.P Anderson. 1989. AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. Journal of Soil and Water Conservation 44(2): 168-173.
- Yusuf, S.M. 2010. Kajian respon perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrologi pada DAS Cisarea menggunakan model MWSWAT. Tesis. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.