

PEMANFAATAN FREEWARE DALAM PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK NERACA AIR BULANAN SPASIAL: STUDI KASUS DAS CICATIH, SUKABUMI

Sofyan Kurnianto dan Daniel Murdiyarso

Centre for International Forestry Research

Address: Jl. Situgede Sindang Barang Bogor

e-mail: s.kurnianto@cgiar.org

Abstract

The monthly water balance model can be used for simplifying the physical processes in a catchments. It has already implemented in various catchment condition and for assessing the impact of the climate and land cover change on the water resources. Freeware is the software that can be obtained and operated freely for the unlimited period. In this study, we built the software for calculating the spatially explicit monthly water balance, namely JavaWB by using freeware i.e. JavaTM 2 Standard Edition 5.0 (J2SE 5.0). JavaWB requires two kinds of input data, which are spatial and tabular data. Spatial data consists of land cover, soil texture, isohyets, altitude, and latitude map. Meanwhile, tabular data consists of temperature and water holding capacity of the soil. The bookkeeping method of Thornthwaite and Mather is utilized to estimate the monthly water balance components such as actual evapotranspiration, soil water content, soil moisture surplus and deficit. The Cicatih catchment that located in Sukabumi District is used to test the JavaWB. The highest soil moisture surplus is produced in Cicatih Hulu sub-catchment that located in the upper part of the catchment due to the highest rainfall. Conversely, Cikembar sub catchment located on the lower part of the catchment has the highest deficit. The spatial distribution of soil moisture surplus and actual evapotranspiration closely related with the topographic condition. Furthermore, the temporal distribution of the surplus follows the pattern of the rainfall.

Keywords: evapotranspiration, soil moisture surplus, deficit, geographic information system.

Abstrak

Model neraca air bulanan mampu menggambarkan proses fisik yang terjadi di DAS dengan melakukan berbagai penyederhaan. Model ini telah diaplikasikan pada berbagai kondisi DAS serta digunakan untuk mengkaji dampak perubahan iklim dan penutupan lahan terhadap sumber daya air. JavaTM 2 Standard Edition 5.0 (J2SE 5.0) yang bisa didapatkan secara gratis (freeware) digunakan pada studi ini untuk membangun perangkat lunak perhitungan komponen neraca air bulanan spasial. Perangkat lunak ini selanjutnya dinamakan dengan JavaWB. JavaWB membutuhkan dua jenis data yaitu data spasial dan data tabular. Data spasial terdiri dari peta penutupan lahan, tekstur tanah, isohiet, ketinggian, dan lintang sedangkan data tabular terdiri dari tabel suhu dan kapasitas bahan air. Metode Thornthwaite dan Mather digunakan untuk menghitung komponen-komponen neraca air, yaitu evapotranspirasi aktual, kadar air tanah, surplus serta defisit air tanah. DAS Cicatih yang terletak di Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat digunakan untuk menguji JavaWB. Surplus air tanah tertinggi terjadi pada sub-DAS Cicatih Hulu sedangkan terendah pada sub-DAS Cikembar dikarenakan oleh topografinya. Distribusi spasial evapotranspirasi aktual dan surplus air tanah dipengaruhi oleh kondisi topografi. Pola bulanan kadar air tanah dan evapotranspirasi aktual tidak dipengaruhi oleh pola bulanan curah hujan. Di lain pihak, pola bulanan curah hujan sangat mempengaruhi pola surplus air tanah.

Katakunci: evapotranspirasi, surplus, defisit, temporal, SIG

1. Pendahuluan

Terdapat tiga jenis model hidrologi, yaitu model yang bersifat empiris, konseptual dan teoritis (Xu dan Singh 1998). Model empiris dicirikan oleh penggunaan persamaan statistika baik linear maupun non-linear dalam menghubungkan antara input dan output. Model ini tidak menggambarkan proses fisik yang terjadi sehingga sering disebut sebagai black box model. Model konseptual dibangun dengan mempertimbangkan proses fisik yang terjadi dengan banyak melakukan penyederhanaan. Dalam menggambarkan proses fisik yang terjadi, model ini melibatkan satu atau lebih parameter yang harus dikalibrasi dan divalidasi. Model yang paling kompleks adalah model teoritis atau juga disebut sebagai proses fisik. Hal ini dikarenakan, model dibangun menyerupai keadaan sesungguhnya sehingga melibatkan persamaan matematika yang rumit (lihat Thomas dan Beasley 1986; Biftu dan Can 2004). Menurut skala ruang, model hidrologi dibagi menjadi dua, yaitu distributed model dan lumped model. Pada lumped model, DAS diibaratkan suatu titik sehingga mengabaikan keragaman spasial.

Proses-proses hidrologi yang terjadi pada suatu sistem DAS adalah proses rumit yang melibatkan faktor-faktor iklim dan fisiografik yang bervariasi baik ruang maupun waktu (Mehrotra dan Singh 1998). Model neraca air bulanan dapat digunakan untuk menggambarkan proses yang terjadi, yaitu curah hujan sebagai masukan yang akan menghasilkan evapo-transpirasi dan limpasan (Vandewiele et al. 1992; Vandewiele dan Win 1998; Makhoul dan Michel 1994; Xiong dan Guo 1999; Khan et al. 2002). Model ini telah diterapkan pada berbagai tipe iklim (Xu 1997; Vandewiele et al. 1992; Vandewiele & Win 1998; Mehrotra dan Singh 1998) dan digunakan untuk mengetahui dampak perubahan iklim (Arnell 1999; Zhang dan Liu 2005) dan penutupan lahan (Mahe et al. 2005; Wilk et al. 2001) terhadap SDA. Akan tetapi model neraca air ini erat kaitannya dengan model lumped sehingga tidak mampu menjelaskan distribusi spasial dari komponen neraca air di DAS (lihat Vandewiele et al. 1992; Mehrotra and Singh 1998; Khan 1995; Makhoul and Michel 1994; Xiong and Guo 1999). Berdasarkan ini, kami membangun program neraca air bulanan yang kebutuhan datanya tidak terlalu besar dan bersifat spatially explicit sehingga mampu menunjukkan distribusi spasial dari komponen neraca air.

Freeware merupakan suatu perangkat lunak yang bisa diperoleh dan digunakan secara gratis untuk jangka waktu yang tidak terbatas. Salah satu bahasa pemrograman yang termasuk kedalam kelompok ini adalah *JavaTM 2 Standard Edition 5.0* (J2SE 5.0). Selain itu, J2SE 5.0 mempunyai beberapa keunggulan, antara lain mampu dijalankan pada semua sistem operasi komputer, merupakan bahasa pemrograman berorientasi obyek, serta banyak tersedia komponen-komponen pendukung (add on) yang bisa didapatkan secara gratis. Adanya beberapa keunggulan tersebut, pembuatan program neraca air yang kami bangun menggunakan J2SE 5.0 dan dinamakan dengan perangkat lunak JavaWB.

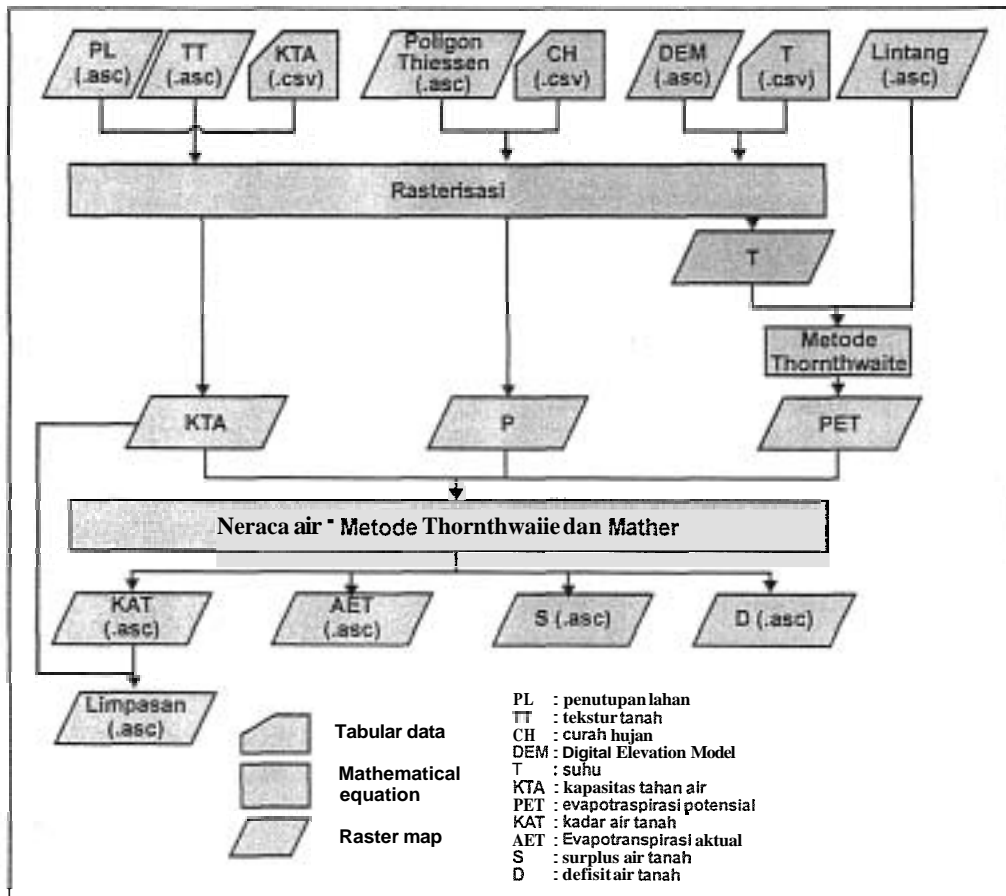
2. Metode

2.1 Deskripsi wilayah kajian

DAS Cicitih yang secara administratif termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Sukabumi digunakan untuk menguji JavaWB. DAS ini mencakup wilayah dengan luas sekitar 53.000 ha dan memiliki lima sub-DAS, yaitu sub-DAS Cicitih hulu, Cileuleuy, Cipalasari, Ciheulang dan Cikembar. Ketinggian wilayah ini berkisar antara 200 m di outlet

Pemanfaatan Freeware dalam Pengembangan Perangkat Lunak Neraca Air Bulanan Spasial: Studi Kasus DAS Cicatih, Sukabumi

DAS sampai 3.000 m di bagian hulu DAS yang merupakan daerah Gunung Salak di bagian kiri dan Gunung Cede-Pangrango di bagian kanan. Penutupan lahan di DAS ini terdiri dari hutan (15%), kebun/perkebunan (26%), ladang (18%), sawah (19%), pemukiman (13%) dan sisanya adalah semak belukar dan tubuh air. Curah hujan rata-rata tahunan di wilayah ini mencapai 3.000 mm sedangkan suhunya adalah 26°C.



Gambar 1. Diagram alir pernrograman yang diterapkan oleh JavaWB

2.2 Deskripsi model dan kebutuhan data

Diagram alir pernrograman yang digunakan oleh JavaWB dalam proses penghitungan komponen-komponen neraca air, seperti evapotranspirasi aktual (AET), Kadar Air Tanah (KAT), surplus (S) serta defisit (D) air tanah disajikan dalam Gambar 1. JavaWB rnrnbutuhkan dua jenis data, yaitu data spasial dan tabular. Data spasial terdiri dari peta penutupan lahan, tekstur tanah, isohiet, ketinggian, dan lintang. Semua data spasial yang masih berformat analog diubah rnenjadi data digital, selanjutnya ditransfer menjadi format vektor, diproyeksikan ke sistem UTM, dipotong sesuai dengan batas DAS, diubah menjadi data raster, dan akhirnya diekspor ke dalam format ASCII (*.asc) menggunakan software ArcGIS 9.2. Data spasial yang berformat ASCII inilah yang digunakan oleh JavaWB sebagai data rnasukan.

Data tabular terdiri dari tabel suhu dan kapasitas tahan air (KTA). Data tabular ini disimpan dalam bentuk *comma delimited (*.csv)* yang dapat dibuat menggunakan software *Notepad* ataupun *Microsoft Excel*. Selanjutnya oleh *JavaWB*, tabel tersebut akan dirubah menjadi peta suhu dan KTA yang berformat raster. Peta suhu dimanfaatkan untuk menghasilkan peta evapotranspirasi potensial (PET) dengan menggunakan metode *Thornthwaite* yang telah dikoreksi oleh faktor lama penyinaran sesuai dengan persamaan:

$$PET_{x,y,i} = \frac{N_{x,y,i}}{12} 16 \left(10 \frac{T_{x,y,i}}{I_{x,y}} \right)^w \dots\dots\dots 1$$

$$a_{x,y} = 0.49 + (7.9 \cdot 10^{-5})_{x,y} - (7.1 \cdot 10^{-6})_{x,y}^2 + (67.5 \cdot 10^{-4})_{x,y}^2 \dots\dots\dots 2$$

$$I_{x,y} = \sum_{j=1}^{12} \frac{a_{x,y}}{5} \left(\frac{T_{x,y,i}}{5} \right)^{1.5} \dots\dots\dots 3$$

$$N_{x,y,i} = \frac{24}{\pi} a_{x,y,i} \dots\dots\dots 4$$

$$a_{x,y,i} = \cos(-\tan(\theta_{x,y}) \tan(\delta_i)) \dots\dots\dots 5$$

$$\delta_i = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J_{i-1,19}\right) \dots\dots\dots 6$$

PET adalah evapotranspirasi potensial (mm), T suhu (°C), I indeks panas, ω° sunset hour angle (radian), θ lintang (radian), J julian date, δ deklinasi matahari (radian) dan x,y,i menunjukkan pada baris ke x, kolom ke y dan bulan ke i.

Dalam proses ini dihasilkan peta PET DAS Ciatih berformat raster dari Januari sampai Desember. Peta KTA, curah hujan (CH) dan PET yang dihasilkan oleh proses sebelumnya digunakan untuk menghitung komponen-komponen neraca air bulanan dengan menggunakan metode *Thornthwaite* dan *Mather (1957)*. Alur perhitungannya adalah sebagai berikut:

- a. Ketika selisih antara CH dan PET bernilai positif, angka ini akan ditambahkan ke tanah sebagai KAT. Di lain pihak, KAT merupakan fungsi eksponensial dari KTA jika selisih antara CH dan PET bernilai negatif. Hal ini sesuai dengan persamaan:

$$KAT_{x,y,i} = KAT_{x,y,i-1} + CH_{x,y,i} - PET_{x,y,i} \text{ jika } CH_{x,y,i} > PET_{x,y,i}, \dots\dots\dots$$

$$SWC_{x,y,i} = SWC_{x,y,i-1} \exp\left(CH_{x,y,i} - \frac{PET_{x,y,i}}{KET_{x,y,i}} \right), \text{ jika } CH_{x,y,i} < PET_{x,y,i}$$

- b. Pada saat curah hujan lebih dari PET, tanah akan tetap terisi oleh air sehingga besarnya evapotranspirasi aktual (AET) sama dengan nilai potensialnya. Jika curah hujan pada bulan-bulan tertentu mengalami penurunan sehingga nilainya kurang dari PET, tanah akan mengalami kekeringan dan nilai AET akan lebih kecil dari PET. Selanjutnya, AET akan dihitung berdasarkan persamaan:

$$AET_{x,y,i} = PET_{x,y,i} \cdot KET_{x,y,i} + KAT_{x,y,i-1} \text{ jika } CH_{x,y,i} < PET_{x,y,i}$$

- c. Nilai selisih antara PET dan AET disebut sebagai defisit air tanah (D)
- d. Setelah kadar air tanah mencapai nilai maksimumnya, yang ditunjukkan oleh nilai KTA, sisa air tersebut akan menjadi surplus air tanah (S) yang dihitung dengan:

$$S_{x,y,i} = \max(0, KAT_{x,y,i} - KTA_{x,y,i})$$

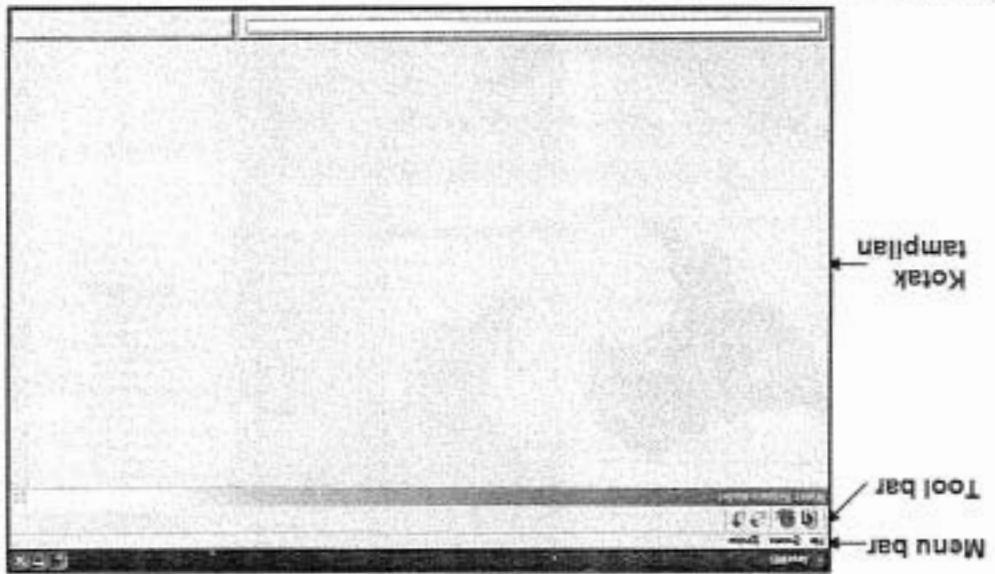
- e. Akhirnya kadar air tanah pada bulan tersebut dihitung dengan:

$$KAT_{x,y,i} = KAT_{x,y,i-1} - S_{x,y,i}$$

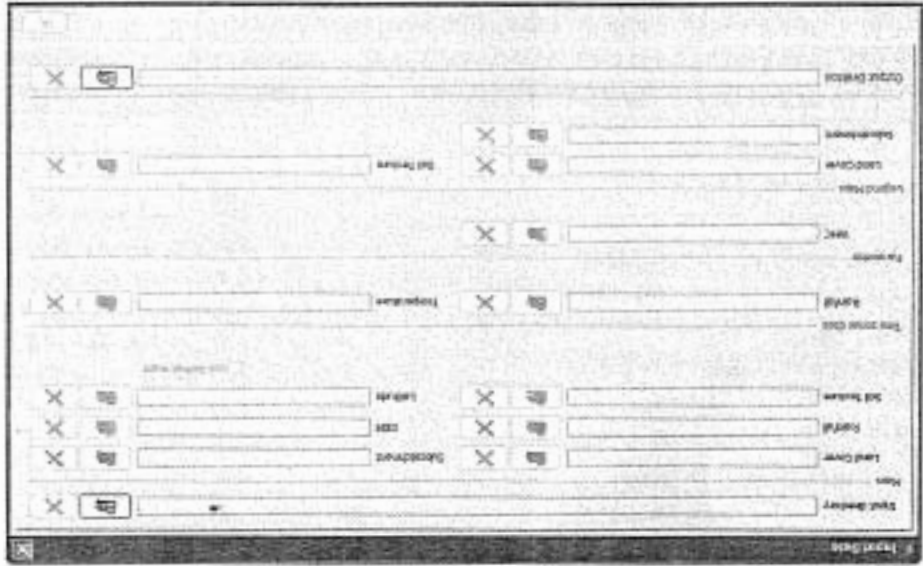
3. Hasil dan Pembahasan

3-1. User Interface

JawaWB dibangun dengan user interface yang bersifat *user friendly* agar mudah dalam penggunaannya. Pada halaman utama JawaWB terdapat menu bar, tool bar, dan kotak tampilan (Gambar 2). Perintah-perintah seperti menyimpan, membuka proyek, menghitungkan neraca air maupun menghapus bisa diakses dari menu bar ataupun tool bar.

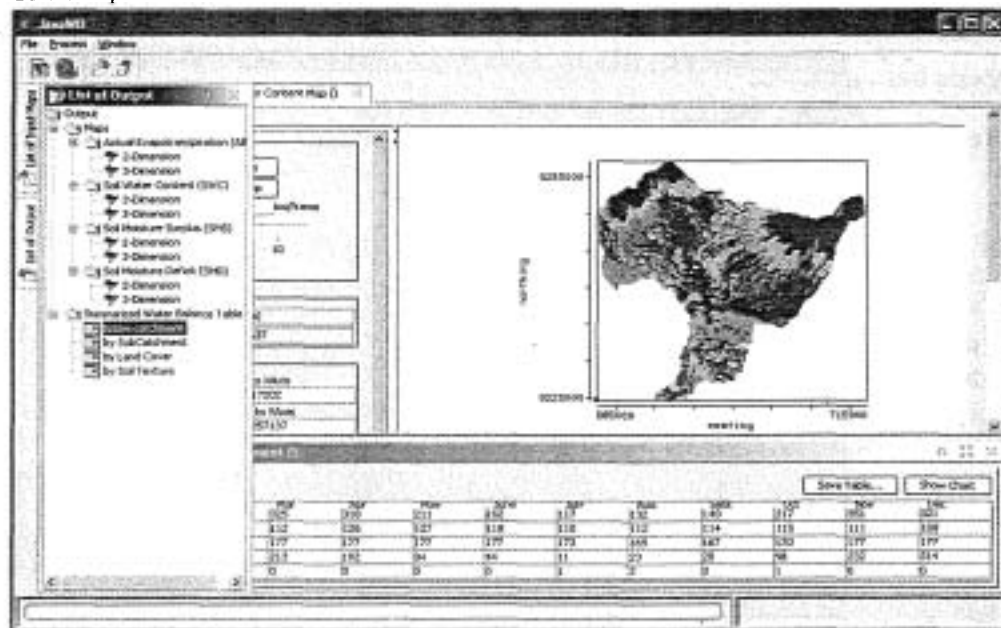


Gambar 2. Tampilan utama dari JawaWB



Gambar 3. Form yang digunakan untuk mendefinisikan data yang dibutuhkan oleh JawaWB baik berupa data spasial maupun tabular.

Untuk rnengorganisir semua masukan data yang berupa data spasial rnapun tabular, di *JavaWB* disediakan form yang berfungsi untuk rnendefinisikan sernua data yang dibutuhkan oleh model ini (Garnbar 3). Setelah proses pernasukan data dan perhitungan neraca air selesai, *JavaWB* rnarnpu menampilkan AET, KAT, surplus dan defisit dalam bentuk peta dua dimensi atau tiga dimensi serta dalam bentuk tabel seperti terlihat pada Gambar 4.



Garnbar 4. User interface *JavaWB* yang menampilkan peta dan tabel kornponen neraca air hasil perhitungan.

3.2. Neraca air

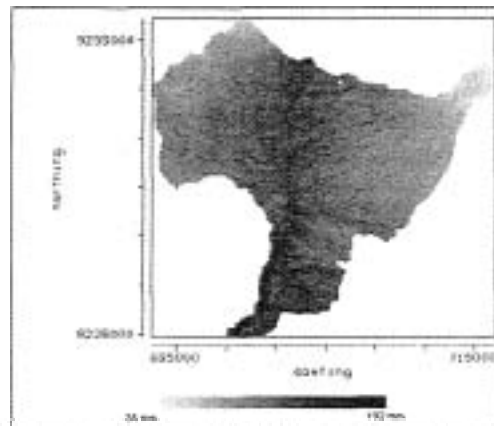
Total curah hujan, evapotranspirasi aktual, kadar air tanah, surplus serta defisit air tanah tahunan pada lima sub-DAS di Cicatih ditampilkan pada Tabel 1. Surplus tertinggi terjadi terjadi di sub-DAS Cicatih yang dikarenakan letaknya di bagian hulu DAS sehingga rnernpunyai curah hujan yang tinggi sedangkan evapotranspirasinya rendah. Sub-DAS Cikernbar memiliki surplus terendah dengan seiisih sekitar 600 mm dengan Cicatih hulu. Kadar air tanah tertinggi terjadi sub-DAS Cileuleuy dikarenakan kornposisi penutupan lahannya yang didornniasi oleh hutan dan perkebunan.

Table 1. Komponen-komponen neraca air tahunan pada masing-masing sub-DAS

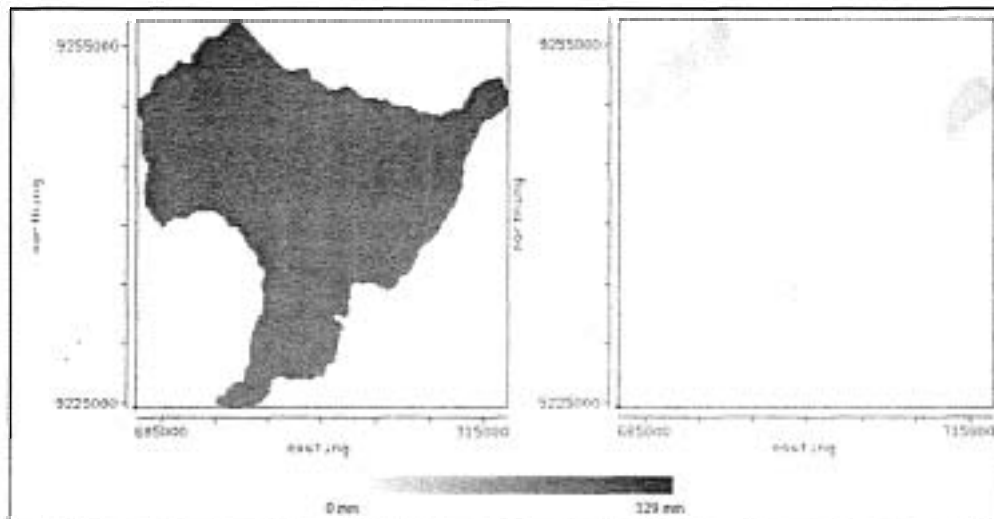
| Sub-DAS | CH | AET | KAT | Surplus | D |
|--------------|-------|-------|-------|---------|----|
| Cicatih hulu | 3,086 | 1,211 | 1,845 | 1,876 | 1 |
| Ciheulang | 2,404 | 1,145 | 2,131 | 1,259 | 12 |
| Cileuleuy | 2,992 | 1,356 | 2,404 | 1,635 | 6 |
| Cipalasari | 2,919 | 1,228 | 2,135 | 1,691 | 4 |
| Cikembar | 2,727 | 1,463 | 1,939 | 1,264 | 30 |

Pemanfaatan Freeware dalam Pengembangan Perangkat Lunak Neraca Air Bulanan Spasial: Studi Kasus DAS Cicitih, Sukabumi

Distribusi spasial AET secara umum mengikuti pola topografi dimana AET di bagian hulu DAS lebih kecil dari bagian hilir dikarenakan suhu yang lebih rendah dibagian hulu. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 5 yang menunjukkan distribusi spasial AET di DAS Cicitih pada bulan Juni. AET maksimum yang terjadi di bagian hilir DAS pada bulan ini mencapai 170 mm atau sekiraempat kali lebih besar dari AET di bagian hulu.



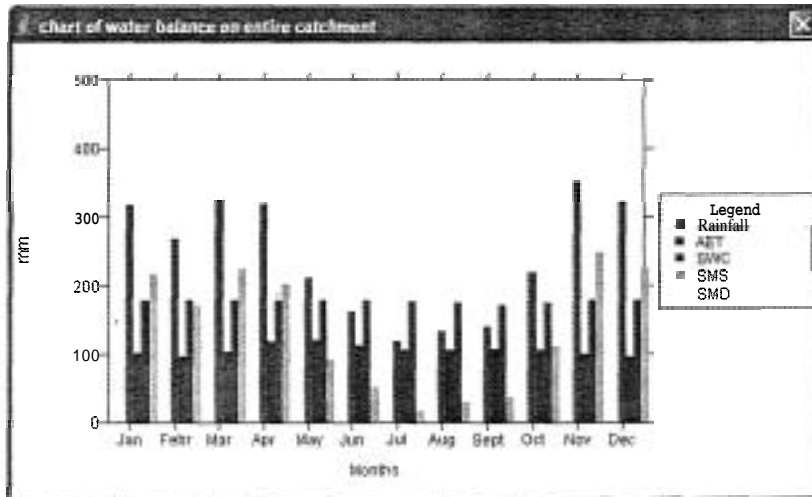
Gambar 5. Distribusi spasial AET pada bulan Juni.



Gambar 6. Distribusi spasial surplus air tanah pada bulan Januari (kiri) dan Agustus (kanan).

Serupa dengan AET, distribusi spasial surplus juga dipengaruhi oleh topografi. Surplus minimum terjadi di bagian hilir DAS sedangkan maksimumnya terjadi di bagian hulu (Gambar 6). Pada bulan Januari yang merupakan musim hujan di wilayah ini, surplus di bagian hilir DAS mencapai 150 mm sedangkan di bagian hulu mencapai dua kali lipatnya. Lebih lanjut pada bulan-bulan kering seperti Agustus, sebagian besar wilayah di bagian hilir DAS tidak mengalami surplus. Dengan semakin meningkatnya ketinggian di beberapa wilayah mengalami surplus dan mencapai maksimum pada bagian hulu DAS sekitar 50 mm.

Rata-rata bulanan komponen neraca air di DAS Cicatih ditunjukkan oleh Gambar 7. Curah hujan mengalami penurunan dari nilai maksimumnya di Maret yang berkisar 300 mm ke nilai minimum yang berkisar 110 mm di Juli. Distribusi temporal surplus erat hubungannya dengan pola curah hujan bulanan. Surplus maksimum terjadi di Maret yang berkisar 220 mm dan akan mengalami penurunan hingga mencapai 10 mm pada bulan Juli. Berbeda dengan surplus, pola bulanan KAT dan AET tidak mengikuti pola curah hujan dimana nilainya hampir sama sepanjang tahun dengan selang antara 160 mm sampai 180 mm untuk KAT dan 100 mm sampai 130 mm untuk AET. Karena curah hujan rata-rata seluruh DAS selalu lebih besar dari evapotranspirasinya, DAS ini secara umum tidak mengalami defisit walaupun pada beberapa tempat di bagian hilir DAS mengalaminya.



Gambar 7. Rata-rata bulanan neraca air di DAS Cicatih

4. Kesimpulan

JavaTM 2 Standard Edition mampu digunakan untuk membangun *JavaWB*, yaitu perangkat lunak untuk menghitung komponen neraca air bulanan (seperti evapotranspirasi aktual, kadar air tanah, surplus, dan defisit) secara spasial. Perangkat lunak tersebut mempunyai user interface yang memudahkan dalam penggunaannya dan bisa menampilkan hasil perhitungan neraca air dalam bentuk peta, tabel ataupun grafik.

Sub-DAS Cicatih Hulu mempunyai surplus tertinggi sedangkan sub-DAS Cikembar yang berada di bagian hilir DAS mempunyai defisit tertinggi. Distribusi spasial evapotranspirasi aktual dan surplus tergantung dengan kondisi topografi daerah. Distribusi temporal surplus air tanah lebih dipengaruhi oleh pola curah hujan bulanan.

Daftar Pustaka

- Arnell NW. 1999. The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective. *Global Environmental Change*.9:5-23.
- Biftu GF and Gan TY. 2004. A semi distributed, physics-based hydrologic model using remotely sensed and digital terrain elevation data for semiarid catchments. *Int. J. remote sensing* 25(20)4351-4379

Pemanfaatan Freeware dalam Pengembangan Perangkat Lunak Neraca Air Bulanan Spasial: Studi Kasus DAS Cicitih, Sukabumi

- Khan AA, Shah and HF Gabriel. 2002. The influence of conceptual flow simulation model parameters on model solution. *Water Resour. Manage.* 61:51-69.
- Mahe C, JE Paturel, E Servat, D Conway, and A Dezetter. 2005. The impact of land use change on soil water holding capacity and river flow modeling in the Nakambe River, Burkina Faso. *J. Hydrol.* 300:33-43.
- Makhlouf Z and C Michel. 1994. A two-parameter monthly water balance model for French watersheds. *J. Hydrol.* 162: 299-318.
- Mehrotra R dan RD Singh. 1998. The influence of model structure on the efficiency of rainfall runoff model: A comparative study for some catchments of Central India. *Water Resour. Res.* 12:325-341.
- Thomas DL and DB Beasley. 1986. A physically-based forest hydrology model, I: development and sensitivity components. *Transactions of the ASAE* 19(4): 962-972
- Thornthwaite CW and JR Mather. 1957. Instruction and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publication in Climatology Vol. X No.3. Centeron, New Jersey
- Vandewiele GL and NL Win. 1998. Monthly water balance model for 55 basins in 10 countries. *Hydrol. Scie. J.* 43(5):687-699.
- Vandiwiele CL, CY Xu, and NL Win. 1992. Methodology and comparative study of monthly water balance model in Belgium, China and Burma. *J. Hydrol.* 134:315-347.
- Wilk J, L Andersson and V Plermkamon. 2001. Hydrological impacts of forest conversion to agriculture in a large river basin in northeast Thailand. *Hydrological Processes.* 15:2729-2748
- Xiong L and S Guo. 1999. A two-parameter monthly water balance model and its application. *J. Hydrol.* 216: 111-123.
- Xu CY. 1997. Application of water balance models to different climatic regions in China for water resource assessment. *Water Resour. Manage.* 11:51-67.
- Xu CY. dan VP Singh. 1998. A review on monthly water balance models for water resource investigations. *Water Resour. Manage.* 12: 31-50
- Zhang XC and WZ Liu. 2005. Simulating potential response of hydrology, soil erosion, and crop productivity to climate change in Changwu tableland region on the Loess Plateau of China. *Agric. For. Meteorol.* 131:127-142.

