

PENDUGAAN SURPLUS AIR TANAH MENGGUNAKAN MODEL NERACA AIR (STUDI KASUS SUB DAERAH ALIRAN SUNGAI CICATIH)

(Estimates of Soil Moisture Surplus Using Water Balance Model in Cicatih Watershed)

S. Kurnianto dan D. Murdiyarso

Lab. Hidrometeorologi, Jurusan Geofisika dan Meteorologi, FMIPA, IPB

ABSTRACT

After soil water content reaches water-holding capacity, the excess is counted as soil moisture surplus. Soil moisture surplus can be used to further describe the condition of water resources and hence the management of the watershed. The quantification the surplus in Cicatih watershed using water balance model and express it in temporal and spatial terms. Spatial data was processed using GIS (Geographic Information System) software ,PCRaster@, that converts all vector data e.g rainfall, landcover types, and soil texture and the calculated surplus. It turns out that the highest surplus is demonstrated by sub watershed dominated by bushy vegetation and clay soil which is Upper Cicatih sub watershed. Meanwhile, the lowest surplus is demonstrated by Cikembar sub watershed of 1,355 mm, as it is dominated by woody vegetation and clay soil. It means that from the management point view vegetation cover plays important role.

Keywords : water balance, soil moisture surplus.

PENDAHULUAN

Neraca air merupakan suatu metode yang didasarkan pada prinsip kekekalan massa, yaitu terjadi keseimbangan antara masukan dan keluaran pada sistem. Metode ini dapat digunakan untuk kepentingan simulasi (*simulation*), seperti adanya perubahan penggunaan lahan di DAS ataupun terjadinya perubahan iklim, sehingga akibat yang mungkin terjadi pada sumberdaya air dapat diprediksi (Susetyo *et al.* 1994). Metode neraca air juga dapat digunakan untuk menduga besarnya evapotranspirasi pada DAS (Lesack 1993; Lakshmi & Wood 1998), perubahan cadangan air (Najjar 1999), limpasan permukaan (Milly 1994) ataupun masukan air bumi (Finch 1998; Arnold *et al.* 2000).

Penerapan sistem informasi geografis (SIG) ke dalam pemodelan hidrologi memberikan manfaat yang besar karena mampu menggambarkan keadaan DAS baik secara spasial maupun temporal. Penggunaan model hidrologi memungkinkan untuk memprediksi proses-proses hidrologi dan karakteristik DAS pada berbagai keadaan. Dilain pihak, SIG merupakan teknologi untuk memanipulasi, menganalisa, dan menampilkan data spasial (Amaro & Asch 1995; Barus & Wiradisastira; 1997) yang dapat memberikan masukan data spasial untuk model hidrologi (Suwanwerakamtorn 1994). Salah satu keuntungan membangun model spasial yaitu dapat dilakukan simulasi perubahan kondisi biofisik DAS sehingga akibat perubahan tersebut terhadap kondisi sumberdaya air dapat diketahui. Simulasi menggunakan model spasial telah digunakan untuk mengetahui perubahan limpasan akibat deforestasi (Amaro *et at.* 1995), reforestasi (Suwanwerakamtorn 1994; Lukey *et at.* 2000), dan peningkatan luas pemukiman (Schulze 2000; Weng 2001).

Menurut Thonthwaite dan Mather (1957) surplus air tanah terjadi karena kandungan air tanah telah melebihi daya tampungnya dan selanjutnya surplus tersebut akan menjadi limpasan. Informasi mengenai surplus air permukaan dapat digunakan untuk mengetahui kondisi sumberdaya air di suatu daerah. Hal ini dikarenakan surplus dapat menggambarkan besar limpasan pada suatu daerah. Pada beberapa penelitian ditunjukkan bahwa peningkatan surplus dapat mengakibatkan peningkatan limpasan, seperti di DAS Solo hulu (Murdiyarto 1979), DAS Musi (Darmanto 1996), DAS Cikapundung (Susetyo *et al.* 1994), dan daerah tangkapan Danau Lindu (Dephut 1996). Penelitian ini bertujuan untuk menghitung surplus air tanah dengan menggunakan metode neraca air di DAS Cicatih, Kabupaten Sukabumi.

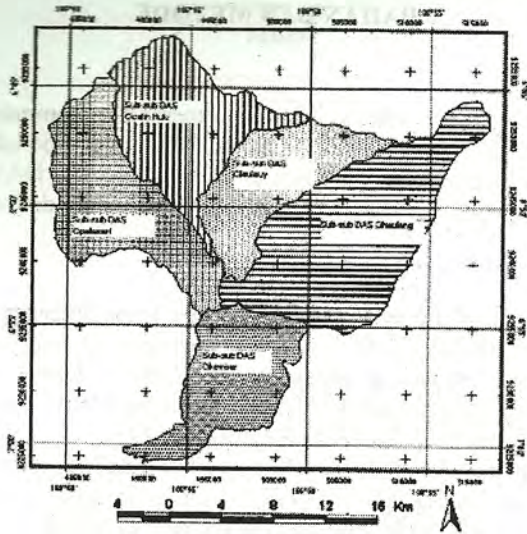
DESKRIPSI WILAYAH KAJIAN

DAS Cicatih secara geografis terletak antara $106^{\circ}39'8''$ - $106^{\circ}57'30''$ BT dan $6^{\circ}42'54''$ - $7^{\circ}00'43''$ LS yang secara administratif masuk ke dalam Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat (Gambar 1). Luas DAS Cicatih kurang lebih 52.780 ha yang terdiri dari lima sub DAS, yaitu Sub DAS Ciheulang, Sub DAS Cileuleuy, Sub DAS Cicatih Hulu, Sub DAS Cipalasari dan Sub DAS Cikembar.

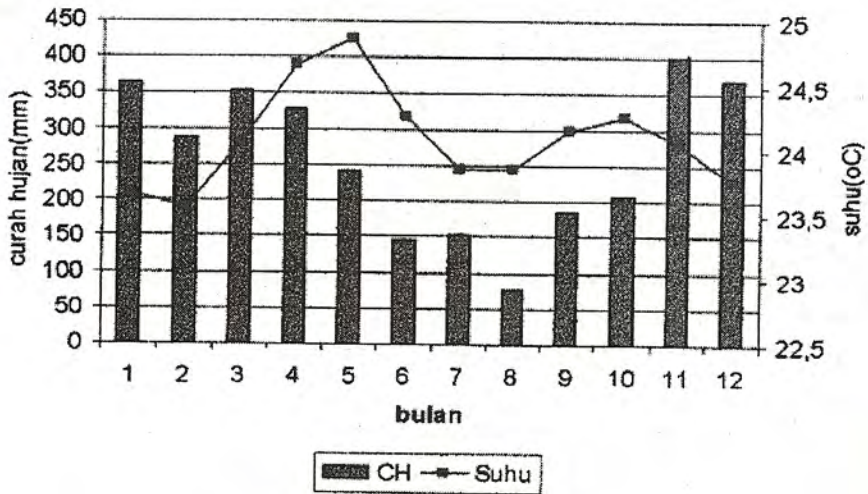
Ketinggian tempat di DAS Cicatih berkisar antara 200 m dpl (meter diatas permukaan laut) di daerah hulu sampai mencapai 3.000 m dpl. Hampir 60% wilayah ini merupakan daerah yang landai dengan kemiringan kurang dari 15%. Wilayah yang berlereng curam dengan kemiringan lebih dari 45% menempati 20% keseluruhan wilayah. Daerah ini sebagian besar berada di bagian hulu DAS yang terdapat beberapa gunung, yaitu Gunung Gede, Gunung Pangrango, dan Gunung Salak.

Berdasarkan perhitungan curah hujan wilayah dengan metode Thiesen, selama kurun waktu 10 tahun (1986-1995) didapatkan bahwa curah hujan terendah terjadi pada bulan Agustus dan tertinggi pada bulan November. Besar curah hujan tertinggi mencapai lima kali lipat dari curah hujan terendah (Gambar 2). Setelah mencapai nilai maksimum curah hujan akan mengalami penurunan dan akan kembali naik pada bulan Maret setelah itu kembali mengalami penurunan sampai mencapai nilai minimum.

Berbeda dengan curah hujan, suhu di DAS Cicatih mencapai nilai maksimum pada bulan Mei dan minimum pada bulan Februari. Suhu rata-rata bulanan di wilayah ini berkisar antara $23,6^{\circ}\text{C}$ sampai $24,9^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata sebesar $24,1^{\circ}\text{C}$ (Gambar 2).



Gambar 1. Peta batas DAS Cicatih, Kabupaten Sukabumi.



Gambar 2. Curah hujan dan suhu rata-rata bulanan di DAS Cicatih.

Enam puluh satu persen wilayah DAS Cicatih mempunyai tanah bertekstur liat. Sedangkan lempung mencakup 9%, lempung berdebu 9%, lempung berliat 13%, dan liat berdebu 8% dari luas total DAS.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu seperangkat komputer dengan meja digitizer yang dilengkapi oleh perangkat lunak SIG. Adapun bahan yang diperlukan pada penelitian ini meliputi data spasial dan data temporal. Data spasial berupa peta batas DAS, peta penutupan lahan, peta rupa bumi, dan peta tinjau tanah sedangkan data temporal berupa data curah hujan dan suhu.

Metode

Pembuatan beberapa model hidrologi yang menduga besar limpasan didasarkan pada prinsip bahwa jika kandungan air tanah melebihi nilai maksimumnya, air tersebut akan menjadi surplus dan sebagian darinya akan menjadi limpasan. Model-model hidrologi yang berdasarkan pada prinsip tersebut antara lain model SAHY ADRI (Putty dan Prasad 2000), Model ANSWERS (Beasley *et al.* 1980), serta model Forest-BGC (Band *et al.* 1993).

Pemodelan yang dilakukan pada penelitian ini didasarkan pada proses hidrologi yang berlangsung di DAS dengan melakukan penyederhanaan pada proses tersebut. Penyederhanaan-penyederhanaan pada model ini antara lain curah hujan merupakan satu-satunya masukan ke dalam sistem dan merata untuk satu wilayah yang diwakili oleh penakar hujan serta keluaran dari sistem adalah evapotranspirasi tanaman untuk lahan bervegetasi dan evapotranspirasi potensial untuk daerah pemukiman.

Selain membutuhkan variabel-variabel iklim, model ini juga membutuhkan parameter mengenai keadaan tanah maupun vegetasi yang mempengaruhi proses hidrologi. Parameter-parameter yang digunakan pada model ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter model

Ic	Persentase intersepsi tanaman
KTA	Kapasitas tahan air
Kc	Koefisien tanaman

Menurut Thornthwaite dan Mather (1957) surplus dihitung sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

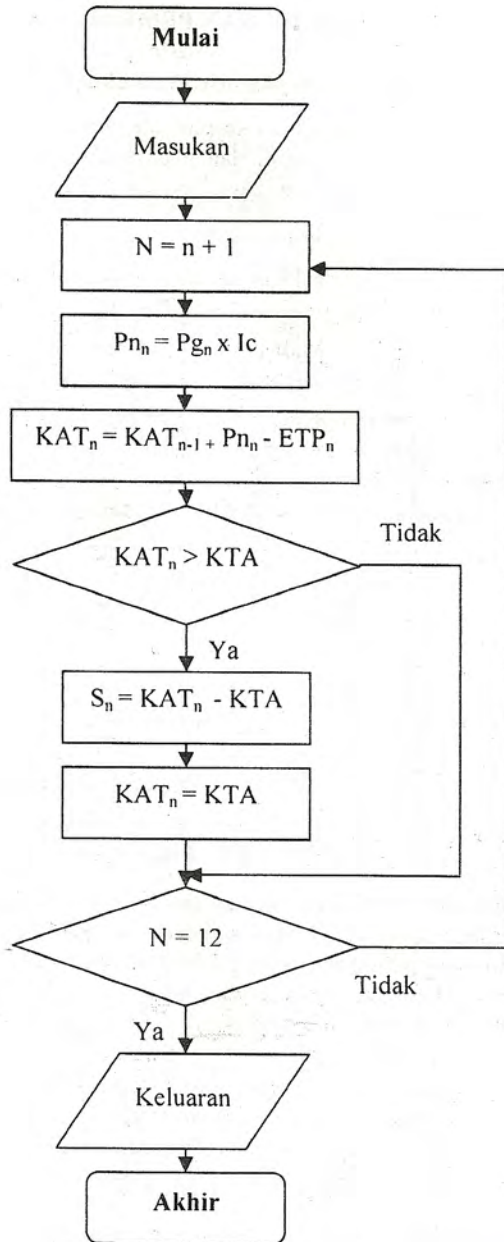
$$S_n = P_{gn} - ETP_n - (KAT_n - KAT_{n-1}) \dots \dots (1)$$

Dimana S_n adalah surplus pada bulan ke- n , P_g adalah curah hujan total, ETP merupakan evapotranspirasi potensial, dan KAT untuk kadar air tanah.

Dikarenakan pada saat terjadi surplus KAT sama dengan KTA dan besar KAT bulan ini merupakan akumulasi KAT bulan sebelumnya mengakibatkan besar surplus dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_n = KAT_n - KTA$$

Diagram alir perhitungan surplus disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penentuan surplus air permukaan. dimana Pn adalah curah hujan neto.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Spasial dan Temporal Surplus Air Permukaan.

DAS Cicatih memiliki keragaman surplus air permukaan yang tinggi. Surplus maksimum terjadi pada November sebesar 346 mm dan pada bulan Juni sampai Oktober terdapat daerah-daerah di DAS tersebut yang tidak terdapat surplus (Tabel 2). Surplus tahunan di wilayah ini sebesar 1.621 mm.

Tabel 2. Variasi surplus air permukaan di DAS Cicatih

Bulan	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Rata-rata (mm)
1	290	93	233
2	215	59	166
3	320	84	218
4	304	69	189
5	149	33	112
6	80	0	34
7	93	0	44
8	1	0	0
9	139	0	49
10	132	0	81
11	346	49	259
12	329	92	236
Tahunan			1.621

Distribusi temporal surplus air permukaan dipengaruhi oleh variasi curah hujan. Pada bulan Juni sampai September (curah hujan kurang dari 200 mm) surplus di wilayah ini antara 0 mm sampai 139 mm dan yang paling rendah terjadi pada bulan Agustus. Setelah bulan September besar surplus kembali mengalami peningkatan dan mencapai puncaknya pada bulan November. Pada bulan ini, surplus terjadi di seluruh wilayah Sub DAS Cicatih yang besarnya antara 49 mm sampai 346 mm.

Semakin meningkat curah hujan pada suatu daerah di DAS Cicatih maka dapat meningkatkan tinggi surplus. Daerah Cisampora yang memiliki curah hujan tahunan terendah (2.690 mm) menghasilkan surplus tahunan terendah di DAS Cicatih (1.215 mm). Sebaliknya, Cicurug yang mempunyai curah hujan tertinggi menghasilkan surplus tahunan tertinggi (1.812 mm).

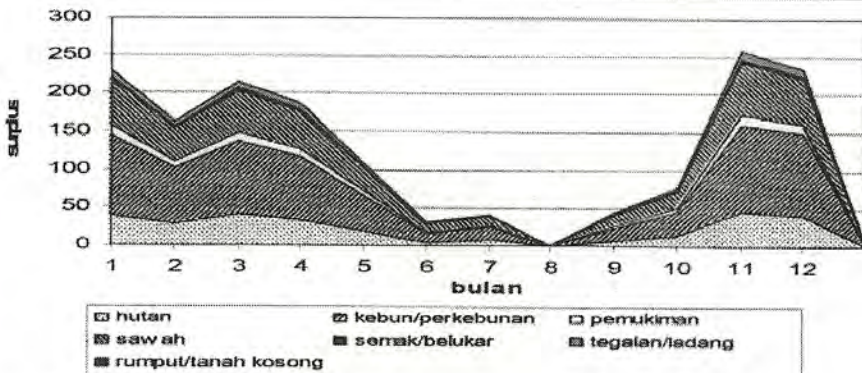
Hasil ini memiliki persamaan dengan penelitian Murdiyarso (1979) di DAS Solo H/Rulu dan Darmanto (1996) di DAS Musi yang mendapatkan bahwa daerah dengan curah hujan yang tinggi akan mempunyai surplus yang tinggi.

Peningkatan bagian curah hujan yang menjadi surplus (koefisien surplus) dengan meningkatnya tinggi curah hujan didapatkan hasil yang sama antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya. Di DAS Cicatih, pada curah hujan sebesar 2.700 mm menghasilkan

koefisien surplus sebesar 45% dan mengalami peningkatan 10% dengan tinggi curah hujan sebesar 3.400 mm. Hasil yang sama juga didapatkan pada penelitian Susetyo *et al.* (1994) di Sub DAS Cikapundung dan Darmanto (1996) di DAS Musi, yaitu peningkatan curah hujan mengakibatkan peningkatan koefisien surplus.

Dikarenakan daerah hutan mempunyai kandungan air tanah yang tinggi yaitu 4.469 mm mengakibatkan wilayah tersebut menghasilkan surplus terkecil, yaitu sebesar 1.346 mm. Nilai ini mempunyai selisih sekitar 900 mm dengan surplus yang dihasilkan daerah semak belukar yang merupakan daerah penghasil surplus tertinggi. Hal ini dikarenakan semak belukar mempunyai nilai kehilangan intersepsi yang lebih kecil dibandingkan dengan hutan dan kebun. Selain itu pula, semak belukar mempunyai kedalaman perakaran yang lebih dangkal dari hutan (Canadell *et al.* 1996) sehingga kapasitas tahan air pada daerah tersebut juga lebih rendah daripada daerah hutan (Thornthwaite & Mather 1957).

Gambar 4 menampilkan kontribusi surplus bulanan dari daerah pada tipe penutupan lahan yang berbeda-beda. Jumlah dari bagian-bagian tersebut menunjukkan surplus rata-rata bulanan seluruh DAS (Tabel 2). Kontribusi terbesar dihasilkan dari areal kebun/perkebunan karena wilayah ini merupakan daerah dominan di DAS Cicatih. Hutan dan sawah memberikan kontribusi surplus yang hampir sama karena kedua daerah ini mempunyai luasan yang tidak jauh berbeda. Daerah dengan kontribusi surplus terkecil adalah pada areal rumput/tanah kosong.



Gambar 4. Tinggi surplus seluruh Sub DAS berdasarkan kontribusi dari masing-masing tipe penutupan lahan. Jumlah dari bagian-bagian tersebut menunjukkan surplus rata-rata bulanan seluruh sub DAS (Tabel 2).

Tanah bertekstur liat, menghasilkan tinggi dan koefisien surplus yang paling besar di DAS Cicatih. Di lain pihak, lempung berdebu memiliki koefisien surplus yang paling kecil. Penyebabnya adalah pada tanah liat, tanaman mempunyai kedalaman perakaran yang lebih dangkal dari tipe tanah yang lain (Thornthwaite & Mather 1957). Kedalaman perakaran yang dangkal ini mengakibatkan air yang dapat disimpan pada zona perakaran lebih kecil daripada akar yang dalam sehingga air yang menjadi menjadi surplus bertambah besar.

Implikasi Neraca Pengelolaan DAS

Air terhadap Sub DAS Cicatih hulu menghasilkan surplus tertinggi dibandingkan dengan subsub DAS yang lainnya (Tabel 3). Hal ini karena hampir separuh dari daerah tersebut merupakan daerah pemukiman dan areal pertanian. Areal pertanian memiliki kedalaman perakaran yang lebih dangkal dari hutan dan kebun sehingga air yang dapat disimpan tanah pada daerah tersebut juga kecil dan sisanya dihasilkan sebagai surplus. Hal ini mengakibatkan wilayah tersebut memiliki simpanan air tanah terkecil (Tabel 3). Selain itu pula besarnya surplus di daerah tersebut juga dikarenakan curah hujan yang sangat tinggi pada daerah tersebut (Tabel 3).

Tabel 3. Nilai curah hujan, kadar air tanah serta surplus air permukaan tahunan di setiap Sub-sub DAS

Sub-Sub DAS	Curah hujan (mm)	KAT (mm)	Surplus (mm)
Ciheulang	3.082	2.482	1.611
Cikembar	2.813	2.750	1.355
Cileuleuy	3.197	2.874	1.712
Cicatih			
Hulu	3.280	2.406	1.751
Cipalasari	3.165	2.694	1.651

Di DAS Cicatih surplus terendah dihasilkan di Sub DAS Cikembar yang merupakan daerah hilir DAS. Penyebabnya adalah curah hujan pada daerah tersebut paling rendah dari daerah yang lain (Tabel 3). Selain itu, hampir sekitar 80% tipe penutupan lahan di daerah ini berupa kebun dan hutan serta sisanya merupakan daerah pemukiman dan pertanian (Tabel 4). Hal ini mengakibatkan simpanan air tanah tahunan pada daerah ini cukup tinggi yang mencapai 2.750 mm.

Sub DAS Cileuleuy yang terletak di bagian hulu DAS mempunyai curah hujan yang cukup tinggi. Selain itu pula sekitar 75% dari wilayah ini bertipe penutup lahan vegetasi pohon (hutan dan kebun) dan sisanya merupakan areal pemukiman, pertanian dan semak belukar. Hal ini mengakibatkan kandungan air tanah di sub DAS ini paling tinggi dibandingkan dengan daerah yang lain.

Sub DAS Cicatih Hulu memerlukan perhatian yang khusus dalam hal pengelolaan dan manajemen DAS. Hal ini dikarenakan Sub DAS ini berada di wilayah hulu DAS sehingga memiliki curah hujan yang tinggi. Selain itu, di sub DAS ini memiliki persentase luas pemukiman yang paling tinggi dari sub DAS yang lain. Adanya keadaan ini mengakibatkan surplus yang dihasilkan lebih tinggi dari sub DAS yang lain.

Pengelolaan DAS ini bisa dilakukan dengan memantau perubahan penutupan lahan di wilayah ini. Hal ini dikarenakan dari tiga faktor yang mempengaruhi surplus (iklim, tanah, dan penutupan lahan), penutupan lahan merupakan faktor yang sering berubah akibat kegiatan manusia. Oleh karena itu, diperlukan suatu peraturan yang mengatur wilayah-wilayah yang menjadi daerah konservasi.

Luas hutan di Sub DAS Cicatih Hulu mencakup 8% dari keseluruhan total luas sub-sub DAS. Dalam pengelolaan DAS, wilayah ini perlu menjadi daerah konservasi dan pada daerah

daerah tertentu seperti hutan pada kemiringan lebih dari 60% harus dijadikan kawasan hutan lindung (Susetyo *et al.* 1994). Hal ini dikarenakan pada beberapa penelitian dengan simulasi didapatkan bahwa adanya kegiatan deforestasi mengakibatkan peningkatan surplus dan limpasan (Susetyo *et al.* 1994; Amam *et al.* 1995).

Tabel 4. Persentase luas penutupan lahan pada masing-masing sub DAS

Penutupan Lahan	Luas sub DAS (%)				
	Cicatih Rulu	Cikembar	Ciheulang	Cileuleuy	Cipalasari
Rutan	18	3	27	37	14
Kebun/perkebunan	38	76	22	37	70
Pemukiman	9	3	7	3	4
Rumput/tanah kosong	0	0	0	0	0
Sawah	34	13	37	12	12
Semak/belukar	0	0	3	0	0
Tegalan/ladang	1	5	3	11	0
Jumlah	100	100	100	100	100

Tipe penutupan lahan pemukiman di sub DAS ini juga memerlukan perhatian yang khusus. Hal ini dikarenakan pada daerah ini terdapat jalan utama yang menghubungkan Sukabumi dan Bogor. Dengan adanya jalur utama ini, dimungkinkan terjadi perluasan areal pemukiman. Perluasan areal pemukiman ini bisa mengakibatkan peningkatan limpasan (Fakhrudin & Wibowo 1998; Schulze 2000 ;Weng 2001).

Sub DAS Cileuleuy dapat digolongkan sebagai sub DAS dengan kondisi yang lebih baik dari Sub DAS Cicatih Hulu. Hal ini karena, meskipun kedua sub DAS ini terletak di wilayah hulu DAS sehingga hampir mempunyai tinggi curah hujan tahunan yang hampir sama tetapi kadar air tanah di DAS Cileuleuy lebih tinggi dari Sub DAS Cicatih Hulu, bahkan kadar air tanah di sub DAS Cileuleuy merupakan kadar air tanah tertinggi di DAS Cicatih.

Selain itu, dalam hal tipe penutupan lahan, bagian daerah yang ditutupi oleh vegetasi berkayu lebih luas di Sub DAS Cileleuy daripada Sub DAS Cicatih Hulu dan sebaliknya bagian yang merupakan daerah pemukiman lebih besar di Sub DAS Cicatih Hulu daripada Sub DAS Cileuleuy.

KESIMPULAN

Distribusi spasial surplus dipengaruhi oleh tinggi curah hujan, penutupan lahan, dan tekstur tanah. Daerah pemukiman menghasilkan besar dan koefisien surplus yang paling tinggi. Tinggi surplus tahunan pada daerah hutan, kebun, pemukiman, sawah, semak belukar, tegalan, dan rumput berturut turut sebesar 1.346 mm, 1.580 mm, 1.509 mm, 1.774 mm, 1.960 mm, 1.834 mm, dan 1.537 mm sedangkan koefisien surplusnya sebesar 34%, 42%, 40%, 49%, 52%, 50%, dan 41 %. Tinggi surplus tahunan pada tanah bertekstur lempung berliat, liat, lempung, liat berdebu, dan lempung berdebu adalah 1.449 mill, 1.673 mm, 1.649 mill, 1.362 mm dan 1353 mm sedangkan koefisien surplusnya adalah 28%, 45%, 43%, 35%, dan 36%. Areal kebun/perkebunan memberikan kontribusi surplus terbesar sedangkan rumput mempunyai kontribusi surplus terkecil.

Sub DAS Cicatih hulu menghasilkan surplus tertinggi dari seluruh sub DAS dengan surplus tahunannya sebesar 1.715 mm. Surplus terendah dihasilkan oleh Sub DAS Cikembar sebesar 1.355 mm. Tinggi surplus tahunan untuk Sub DAS Ciplasari, Cileuleuy, dan Ciheulang berturut-turut sebesar 1.651 mm, 1.712 mm dan 1.611 mm.

Karakteristik Sub DAS Cicatih hulu yang bercurah hujan tinggi dan terletak pada jalur utama penghubung dua kabupaten mengakibatkan sub DAS ini memerlukan pengelolaan DAS yang baik. Di lain pihak, sub DAS Cileuleuy mempunyai kadar air tanah yang paling tinggi dari seluruh sub DAS tetapi surplus yang dihasilkan lebih rendah dari sub DAS Cicatih Hulu sehingga sub DAS ini bisa dikategorikan sebagai sub DAS dengan kondisi yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Amaru M, Asch TWJ van. 1995. Modelling environmental impacts of land use changes on overland flow and channel flow processes. *ITC Journal*.4.
- Amaru M, Dijk sm van, Asch TWJ van. 1995. Predicting the impact of land use change on event-based runoff in a small Mediterranean catchment. *ITC Journal*.4.
- Arnold JG, Muttiah RS, Srinivasan R, Allen PM. 2000. Regional estimation of base flow and groundwater recharge III the Upper Mississippi river basin. *J.Hydrol.* 227:21-40.
- Band LE, Patterson P, Nemani R dan Running SW. 1993. Forest ecosystem processes at watershed scale: incorporating hillslope hydrology. *Agricjor.meteorol.*63:93-126.
- Barus B, Wiradisastra US. 1997. Sistem Informasi Geografi, Sarana manajemen Sumberdaya, Laboratorium Penginderaan Jauh, Jurusan Tanah, IPB.
- Beasley DB, Huggins LF, Monke EJ. 1980. ANSWERS: A model for Watershed Planning. *Trans. ASAE* 23(4):938-944.
- Canaden J, Jackson RB, Ehleringer JR, Mooney HA, Sala OE, Schulze ED. 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia* 108:583-595.
- Darmanto D. 1996. Environmental impacts of industrial Watershed. Forest plantation ini Musi. *Manusia dan Lingkungan* 3(9):49-66.
- Balai Teknologi Pengelolaan DAS Ujung Fandango 1996. Laporan Kajian Tata Air di Daerah Tangkapan Danau Lindu T.A. 1995/1996. Ujung Pandang: Proyek Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan DAS Kawasan Timur Indonesia.
- Finch JW.1998. Estimating direct groundwater recharge using a simple water balance model - sensitivity to land surface parameters. *J. Hydrol.*211 :112-125.
- Lesack LFW. 1993. Water balance and hidrologic characteristic of a rain forest catchment in the Central Amazon Basin. *Water resources res.*29(3):759-773
- Lukey BT, Sheffield J, Bathurst JC, Riley RA, Mathys N. 2000.Test of the SHETRAN technology for modelling the impact of reforestation on badlands runoff and sediment yield at Draix, France. *J.Hydrol.*23 5: 44-62
- Milly PCD. 1994. Climate, soil water storage, and the average annual water balance. *Water resources res.*30(7): 2143-2156.

- Murdiyarto. 1979. Perhitungan dan model neraca air daerah aliran sungai Solo Rulu. Tesis. Sekolah Pascasarjana,IPB.
- Najjar RG. 1999. The water balance of the Susquehanna River Basin and its response to climate change.*J.Hydrol.*219:7-19.
- Putty MRY, Prasad R. 2000. Understanding runoff processes Using a watershed model-a case study in the Western Ghats in South India.*J. Hydro!*. 228:215-227.
- Schulze RE. 2000. Modelling hydrological responses to land use and climate change: A Southern African Perspective. *Ambio* 29(1): 12-22.
- Susetyo B, Murdiyarto D, Ridayati R. 1994. Model simulasi proses-proses hidrologi berdasarkan perubahan iklim dan tataguna lahan. *Bul. Agromet.* 1 :34-45.
- Suwanwerakamtorn R. 1994. GIS and hydrologic modeling for the management of small watersheds. *ITC Journal A*.
- Thorntwaite CW, Mather JR. 1957. Instruction and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and Water Balance. Publication In *Climatology.* 1 0(3).
- Weng Q. 2001. Modeling urban growth effects on surface runoff with the integration of remote sensing and GIS. *Environmental Management* 28(6):737-748.