

Respons Hidrologi Akibat Deforestasi di DAS Barito Hulu, Kalimantan Tengah

Hydrological Response Due to Deforestation in Barito Hulu Watershed, Central Kalimantan

Moch. Anwar^{1*}, Hidayat Pawitan², Kukuh Murtilaksono³, dan I Nengah Surati Jaya⁴

¹Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Jalan Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

²Departemen Geofisika dan Meteorologi, Institut Pertanian Bogor, Jalan Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

³Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Institut Pertanian Bogor, Jalan Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

⁴Departemen Manajemen Hutan, Institut Pertanian Bogor, Jalan Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

Abstract

The landcover change, particularly deforestation, can affect hydrological response on watershed. Deforestation of natural forest is identical to degradation of watershed functions, such as loss of land productivity due to increased soil erosion, runoff, evapotranspiration, and decreased water storage. The main objective of this study is to describe the hydrologic response on the Barito Hulu watershed due to landcover change (particularly deforestation) by the use of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model. The result of the study showed that decreasing of forest area was 9.51% from initial condition can increase water yield, evapotranspiration, and erosion as much as 8.52%, 5.94%, and 1.73 t ha⁻¹ year⁻¹, respectively. Otherwise, water storage decreased as much as 14.46%. The landcover on 1990 with rainfall 3,117.10 mm year⁻¹ provided water yield of approximately 1,387.13 mm, evapotranspiration of 1,152.10 mm, water storage of 577.87 mm, and erosion of about 20.52 t ha⁻¹ year⁻¹. The landcover on 2003 with rainfall 2,613.2 mm year⁻¹ provided water yield of approximately 1,385.50 mm, evapotranspiration of 1,121.10 mm, water storage of 106.60 mm, and erosion of about 33.15 t ha⁻¹ year⁻¹ with erosion tolerance of about 43.57 t ha⁻¹ year⁻¹.

Keywords: Barito Hulu watershed, land cover change, water yield, erosion, evapotranspiration

Abstrak

Perubahan tutupan lahan khususnya deforestasi dapat mempengaruhi respons hidrologi suatu daerah aliran sungai (DAS). Deforestasi hutan alam, sama artinya dengan degradasi fungsi DAS, secara nyata menurunkan produktivitas lahan akibat adanya peningkatan erosi tanah, runoff, evapotranspirasi, dan menurunnya simpanan air. Tujuan utama penelitian ini mengkaji respons hidrologi DAS Barito Hulu sebagai akibat adanya perubahan tutupan lahan (khususnya deforestasi) menggunakan model Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Hasil kajian menunjukkan bahwa pengurangan luas hutan sebesar 9,51% dari kondisi semula dapat meningkatkan hasil air, evapotranspirasi, dan erosi berturut-turut sebesar 8,52%, 5,94%, dan 1,73 t ha⁻¹ tahun⁻¹. Adapun simpanan air menurun sebesar 14,46%. Tutupan lahan tahun 1990 dengan curah hujan tahunan 3.117,10 mm menghasilkan hasil air sebesar 1.387,13 mm (44,50%), evapotranspirasi 1.152,10 mm (36,96%), simpanan air 577,87 mm (18,54%), dan erosi sebesar 20,52 t ha⁻¹ tahun⁻¹. Tutupan lahan tahun 2003 dengan curah hujan tahunan 2.613,20 mm menghasilkan hasil air sebesar 1.385,50 mm (53,02%), evapotranspirasi 1.121,10 mm (42,90%), simpanan air 106,60 mm (4,08%), dan erosi sebesar 33,15 t ha⁻¹ tahun⁻¹ dengan erosi yang dapat ditoleransi sebesar 43,57 t ha⁻¹ tahun⁻¹.

Kata kunci: DAS Barito Hulu, perubahan tutupan lahan, simpanan air, erosi, evapotranspirasi

**Penulis untuk korespondensi: mchanwar00@gmail.com, telp.+62-8128437896*

Pendahuluan

Daerah aliran sungai (DAS) merupakan sistem yang kompleks dan terdiri atas komponen utama seperti vegetasi (hutan), tanah, air, manusia, dan biota lainnya. Sebagai salah satu komponen sistem DAS, hutan memiliki fungsi hidrologis

yang berperan mengatur tata air, melindungi tanah dari erosi dan bencana longsor, serta menciptakan iklim mikro yang nyaman dan sesuai bagi manusia serta bagi biota lain. Hutan juga merupakan tempat berlangsungnya proses-proses interaksi biofisik secara sinergis. Proses-proses biofisik hidrologi DAS merupakan proses alami dari suatu daur

hidrologi, sedangkan kegiatan sosial ekonomi merupakan bentuk intervensi manusia terhadap perilaku sistem DAS tersebut. Perubahan hutan di suatu DAS menjadi areal permukiman, kawasan industri, dan pusat kegiatan perekonomian dapat berdampak pada penurunan kualitas lahan akibat banjir, kekeringan, erosi yang berlebihan yang pada akhirnya menurunkan produktivitas lahan, berujung pada menurunnya kesejahteraan masyarakat. Perubahan hutan menjadi tutupan dan penggunaan lahan lain dapat menyebabkan perubahan respons hidrologi DAS yang bersangkutan, terutama meningkatkan aliran permukaan, erosi, dan pengisian air tanah (Schulze 2000; Weng 2001). Susswein *et al.* (2001) menyatakan bahwa deforestasi yang terjadi di DAS bagian hulu dapat menimbulkan degradasi fungsi DAS berupa peningkatan erosi tanah, banjir, dan meningkatnya aliran permukaan (*runoff*) dan sedimentasi. Bila kondisi tersebut berlangsung secara terus-menerus tanpa kendali maka dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan dan tanah longsor, banjir pada musim hujan, atau sebaliknya kekeringan pada musim kemarau.

Sebagai konsekuensi atas meningkatnya jumlah penduduk dan kepentingan ekonomi, pembangunan daerah Kabupaten Murung Raya diarahkan untuk memanfaatkan sumber daya alam khususnya hutan untuk meningkatkan pendapatan daerah guna mendukung pembangunan. Laju deforestasi setelah periode 2003 sangat dipengaruhi oleh peningkatan sektor pertambangan, transmigrasi, perkebunan, dan sektor pertanian. Jika pembangunan yang berlangsung hanya berorientasi kepada pertambahan nilai ekonomis dan tidak mempertimbangkan dampak perubahan penggunaan lahan serta mengabaikan aspek konservasi maka berbagai masalah dapat timbul. Masalah-masalah tersebut antara lain berupa penurunan produktivitas lahan akibat peningkatan erosi tanah dan sedimentasi, serta penurunan ketersediaan sumber daya air. Selain itu, kerusakan tanah akibat perubahan penggunaan lahan dapat menyebabkan terjadinya penurunan kapasitas infiltrasi dan peningkatan aliran permukaan sehingga berdampak pada meningkatnya debit pada musim hujan yang berakibat banjir di bagian hilir, dan sebaliknya menurunkan debit pada musim kemarau sehingga menyebabkan kekeringan.

Analisis untuk menentukan hasil air, evapotranspirasi, dan erosi dilakukan menggunakan pendekatan kombinasi teknologi *RS-GIS* dan model *Soil Water Assessment Tool* (SWAT). Model SWAT sudah banyak dipergunakan dalam beberapa penelitian, antara lain dipergunakan untuk memprediksi erosi dan sedimentasi dan berhasil dengan tingkat akurasi 80–85% (Kirsch *et al.* 2002; Luzio *et al.* 2005). Dewasa ini model SWAT juga terus dikembangkan dan divalidasi untuk menjawab tantangan dan peluang dalam berbagai bidang kajian termasuk untuk mengkaji dampak reforestasi di DAS bagian hulu dan dalam rangka optimasi pengelolaan irigasi pertanian dengan tingkat efisiensi 50–78% (Santhi *et al.* 2001; Moon *et al.* 2004; Arnold & Fohrer 2005; Gosian *et al.* 2005; Heuvalmans *et al.* 2005; Jacobs *et al.* 2005; Jayakrishnan *et al.* 2005; Santhi *et al.* 2005).

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengkaji respons hidrologi DAS Barito Hulu sebagai akibat adanya perubahan tutupan lahan, khususnya deforestasi. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah menentukan hasil air pada tutupan lahan tahun 1990 dan 2003, serta menentukan besarnya erosi per tutupan lahan tahun 1990 dan 2003.

Metode

Penelitian ini dilakukan di DAS Barito Hulu yang secara administratif termasuk dalam Kabupaten Murung Raya dan Kabupaten Barito Utara. Secara geografis lokasi penelitian terletak pada 113°20'–115°55' BT dan 0°53'48"–0°46'06" LU. Peralatan dalam penelitian ini adalah GPS, bor tanah, dan ring contoh tanah. Pengolahan data dilakukan dengan bantuan *digitizer* dan *current meter* dengan perangkat lunak ERDAS v. 8.7, *ArcView* v. 3.2, dan sistem pendukung SWAT 2000.

Data spasial utama yang digunakan untuk memperoleh data perubahan tutupan lahan dan fisiografi lahan adalah citra Landsat TM+ rekaman tahun 1990 dan 2003, peta *land system*, peta rupa bumi skala 1:50.000, peta DEM/SRTM resolusi 90 m × 90 m. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yang disajikan pada Gambar 1. Agar diperoleh gambaran respons hidrologi DAS Barito Hulu sesuai dengan tujuan penelitian ini maka dilakukan analisis dengan menggunakan pendekatan model SWAT terhadap masing-masing kondisi tutupan lahan tahun 1990 dan 2003.

Uji validasi pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan debit hasil perhitungan model SCS (*Soil Conservation Service*) dengan debit hasil model SWAT. Hal ini dilakukan karena keterbatasan data debit observasi di lokasi penelitian. Uji validasi dilakukan dengan koefisien determinasi (R^2) dan *Nash-Sutcliffe Index* (NSI). Koefisien determinasi menunjukkan kedekatan antara nilai yang dihasilkan oleh model SWAT dengan hasil model SCS yang diasumsikan sebagai nilai terdekat dengan kondisi sesungguhnya di lapangan. Koefisien yang mendekati 1 menandakan nilai hasil simulasi memiliki nilai yang cukup dekat dengan nilai sesungguhnya. Secara matematis, persamaan koefisien determinasi dan NSI dirumuskan sebagai:

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{SCS,i} - \bar{Q}_{SCS,i})(Q_{SWAT,i} - \bar{Q}_{SWAT,i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{SCS,i} - \bar{Q}_{SCS,i})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{SWAT,i} - \bar{Q}_{SWAT,i})^2}} \right)^2 \quad [1]$$

$$NSI = 1.0 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{SCS,i} - Q_{SWAT,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{SCS,i} - \bar{Q}_{SCS,i})^2} \right) \quad [2]$$

keterangan:

$Q_{SCS,i}$ = debit hasil model SCS ($m^3 \text{ det}^{-1}$)

$Q_{SWAT,i}$ = debit hasil simulasi model SWAT ($m^3 \text{ det}^{-1}$)

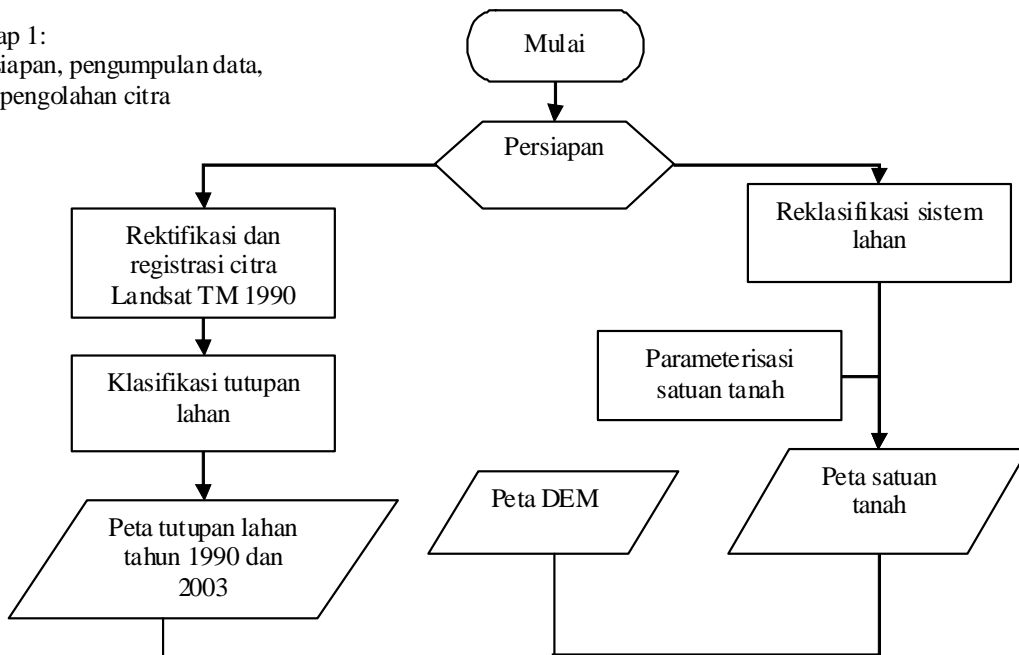
$\bar{Q}_{SCS,i}$ = debit hasil model SCS rata-rata ($m^3 \text{ det}^{-1}$)

$\bar{Q}_{SWAT,i}$ = debit hasil simulasi model SWAT rata-rata ($m^3 \text{ det}^{-1}$)

Kategori simulasi berdasarkan nilai NSI (Stehr *et al.* 2009) adalah layak jika $NSI > 0,75$; memuaskan jika $0,36 < NSI < 0,75$;

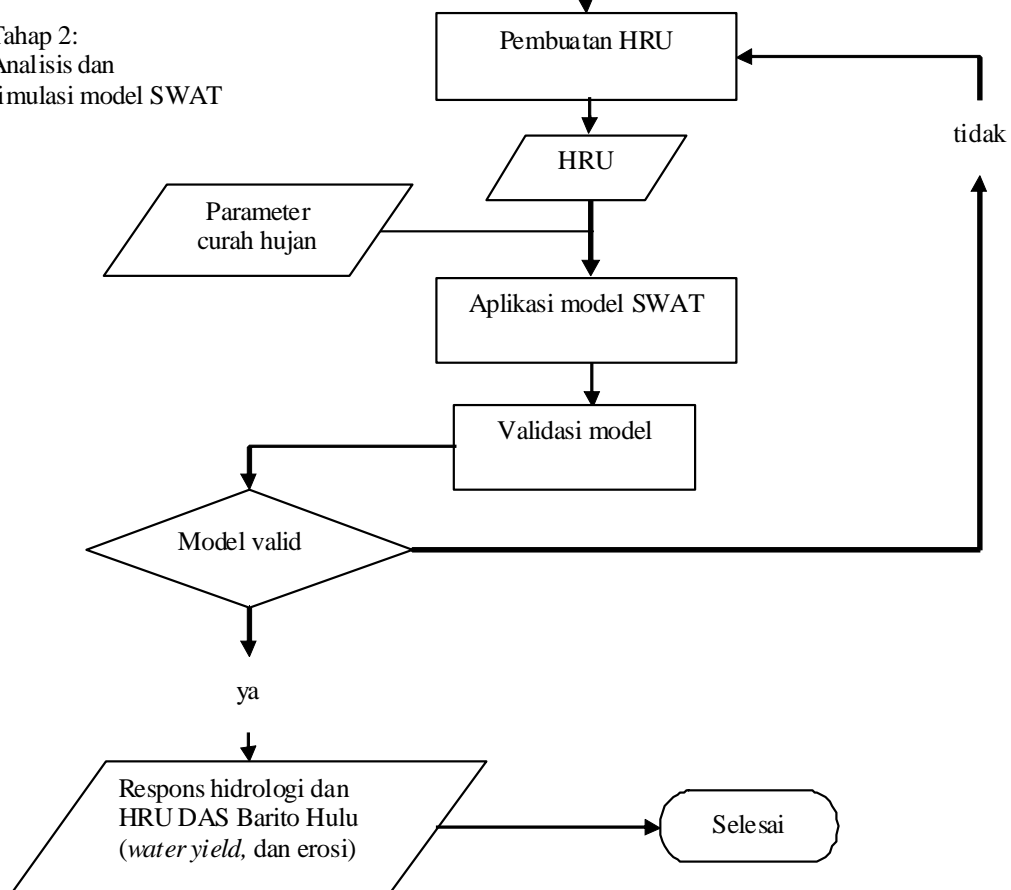
Tahap 1:

Persiapan, pengumpulan data,
dan pengolahan citra

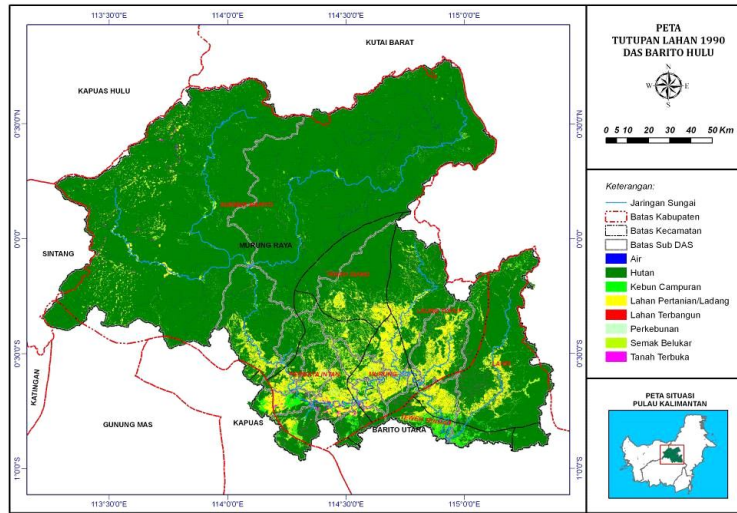


Tahap 2:

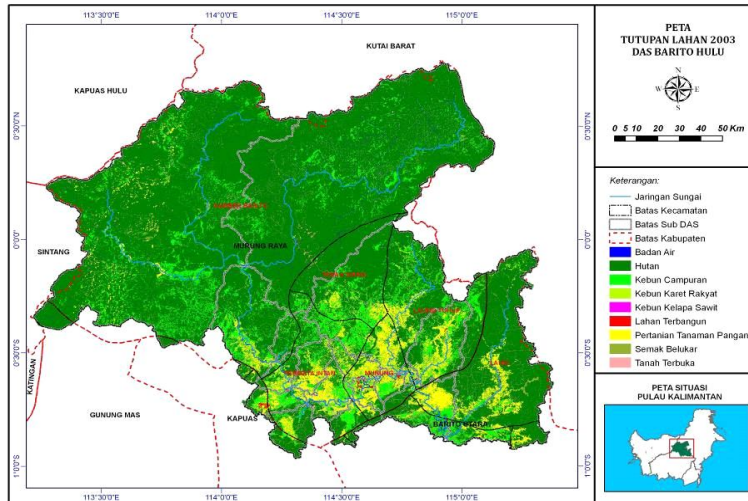
Analisis dan
simulasi model SWAT



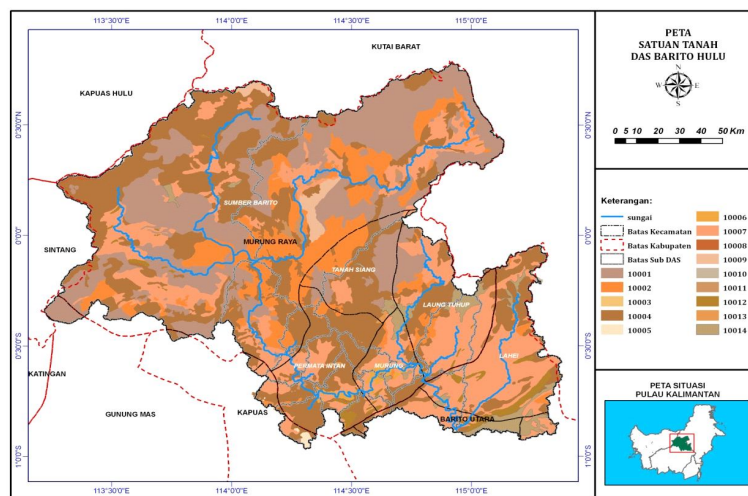
Gambar 1 Bagan alir tahapan penelitian.



Gambar 2 Gambar peta tutupan lahan DAS Barito Hulu tahun 1990.



Gambar 3 Gambar peta tutupan lahan DAS Barito Hulu tahun 2003.



Gambar 4 Gambar peta satuan tanah DAS Barito Hulu.

dan kurang memuaskan jika $NSI < 0,36$. NSI digunakan untuk mengevaluasi model pada SWAT *plot* dan *graph*.

Hasil dan Pembahasan

Perubahan tutupan lahan (1990–2003) Hasil deliniasi dari data DEM dengan model SWAT menunjukkan bahwa luas total DAS Barito Hulu adalah 2.703.806,67 ha. Berdasarkan hasil klasifikasi citra *landsat* TM tahun 1990, tutupan lahan DAS Barito Hulu didominasi oleh hutan seluas 2.324.479,04 ha (85,97%), pertanian tanaman pangan 234.033,12 ha (8,66%), kebun campuran 49.195,02 ha (1,82%), semak belukar 38.518,73 ha (1,42%), badan air 30.172,10 ha (1,12%), tanah terbuka 16.542,49 ha (0,61%), kebun karet rakyat 9.893,98 ha (0,37%), dan lahan terbangun 972,19 ha (0,036%). Hasil klasifikasi tutupan lahan DAS Barito Hulu tahun 1990 disajikan pada Gambar 2.

Hasil klasifikasi tutupan lahan dari citra *landsat* TM tahun 2003 menunjukkan bahwa DAS Barito Hulu juga masih didominasi oleh hutan seluas 2.103.531,09 ha (77,80%), kebun campuran 281.417,63 ha (10,41%), pertanian tanaman pangan 209.880,02 ha (7,76%), tanah terbuka 38.579,13 ha (1,43%), badan air 30.229,29 ha (1,12%), semak belukar 28.851,02 ha (1,07%), kebun karet rakyat 7.804,20 ha (0,29%), dan lahan terbangun 3.514,24 ha (0,13%). Hasil klasifikasi tutupan lahan DAS Barito Hulu tahun 2003 disajikan pada Gambar 3.

Perubahan tutupan lahan di DAS Barito Hulu disajikan dalam Tabel 1. Tutupan lahan tahun 1990 dan 2003 DAS Barito Hulu masih didominasi tutupan hutan. Namun demikian, telah terjadi penurunan luas hutan sebesar 220.947,95 ha (9,51%), tanaman pangan sebesar 24.153,10 ha (10,32%), kebun karet rakyat sebesar 2.089,78 ha (21,12%), semak belukar sebesar 9.667,71 ha (25,10%). Sebaliknya terjadi peningkatan luasan kebun campuran, lahan terbangun, dan tanah terbuka masing-masing sebesar 232.222,61 ha (472,04%), 2.542,05 ha (261,48%), dan 22.036,64 ha (133,21%).

Perubahan luas hutan yang turun sebesar 9,51% dalam kurun waktu 14 tahun terdistribusi secara merata di seluruh areal untuk penggunaan lain. Perubahan dan pergiliran lahan

di DAS Barito Hulu sangat memungkinkan terjadi karena sistem usaha tani yang berlaku bersifat subsisten dan budi daya pertanian yang diterapkan adalah sistem perladangan berpindah sehingga sewaktu-waktu dapat mengalami perubahan baik luas areal maupun jenis komoditasnya. Kebun campuran mengalami peningkatan luas hingga mencapai 4 kali lipat, disusul lahan terbangun 2,5 kali lipat, dan tanah terbuka mencapai 1,3 kali lipat. Peningkatan luas lahan terbangun disebabkan oleh adanya perkembangan pembangunan wilayah pedesaan dan perkotaan berupa bangunan pabrik, gedung perkantoran, dan perumahan penduduk. Adapun peningkatan luas tanah terbuka disebabkan oleh adanya kebakaran lahan pada musim kemarau panjang, selain karena pembukaan lahan pertanian baru dan kegiatan pertambangan.

Jenis tanah Berdasarkan sistem klasifikasi *Soil Taxonomy* sebaran tanah di DAS Barito Hulu terdiri atas 3 ordo yaitu Ultisol, Inseptisol, dan Entisol. Ordo Ultisol diklasifikasikan dalam subordo Udult, grup Hapludult, subgrup Typic Hapludult. Ordo Inseptisol diklasifikasikan dalam subordo Udept, grup Eutrudept dan Dystrudepts, dan supgrup Typic Eutrudepts, Aquic Eutrudepts, Lithic Eutrudepts, Humic Dystrudepts, dan Typic Dystrudepts. Jenis tanah podsolik coklat kemerahan memiliki wilayah penyebaran paling luas dan hampir merata di seluruh areal (mencapai 892.318,42 ha; 33,00%), selanjutnya diikuti podsolik merah kuning (681.195,18 ha; 25,19%), podsolik coklat (643.361,44 ha; 23,79%), dan aluvial (323.662,54 ha; 11,97%).

Kelerengan lahan DAS Barito Hulu dikelaskan menjadi 4 kelas lereng. Hal ini bertujuan untuk mempermudah penentuan proporsi tutupan dan penggunaan lahan. Kelas lereng datar sampai bergelombang (0–15%) luasnya mencapai sekitar 405.872,95 ha (15,01%), kelas lereng berbukit (15–30%) mencapai sekitar 98.847,17 ha (3,66%), kelas lereng agak curam (30–45%) mencapai sekitar 157.290,79 ha (5,82%), dan kelas lereng curam sampai sangat curam (> 45%) mencapai 2.040.398,95 ha yang merupakan areal yang paling luas di

Tabel 1 Perubahan tutupan lahan DAS Barito Hulu tahun 1990 dan 2003

Kelas tutupan lahan	Luas (ha)			
	1990	2003	Selisih	Persentase (%)
Badan air	30.172,10	30.229,29	57,19	0,19
Hutan	2.324.479,04	2.103.531,09	-220.947,95	-9,51
Kebun campuran	49.195,02	281.417,63	232.222,61	472,04
Kebun karet rakyat	9.893,98	7.804,20	-2.089,78	-21,12
Lahan terbangun	972,19	3.514,24	2.542,05	261,48
Pertanian tanaman pangan	234.033,12	209.880,02	-24.153,10	-10,32
Semak belukar	38.518,73	28.851,02	-9.667,71	-25,10
Tanah terbuka	16.542,49	38.579,13	22.036,64	133,21
Total	2.703.806,67	2.703.806,62		

keterangan:

- menunjukkan penurunan luas tutupan lahan
- + menunjukkan peningkatan luas tutupan lahan

DAS Barito Hulu (75,46%). Gambar peta satuan tanah DAS Barito Hulu disajikan pada Gambar 4.

Produksi air DAS Barito Hulu menurut berbagai kelas tutupan lahan Hasil analisis hidrologi dari berbagai tutupan dan penggunaan lahan tahun 1990 dengan model SWAT (Tabel 2) menunjukkan bahwa curah hujan tahunan sebesar 3.117,10 mm menghasilkan hasil air per tahun rata-rata sebesar 1.387,13 mm (44,50% dari total curah hujan), evapotranspirasi sekitar 1.152,10 mm (36,96% dari total curah hujan), dan simpanan air (*storage*) sekitar 577,87 mm (18,54% dari total curah hujan). Hasil analisis respons hidrologi akibat perubahan tutupan dan penggunaan lahan tahun 1990 dan 2003 (Tabel 3) menunjukkan bahwa curah hujan tahunan sebesar 2.613,2 mm menghasilkan hasil air per tahun rata-rata sebesar 1.385,50 mm (53,02% dari total curah hujan), evapotranspirasi sekitar 1.121,10 mm (42,90% dari total curah hujan), dan simpanan air (*storage*) sekitar 106,60 mm (4,08% dari total curah hujan).

Pengurangan luas hutan sebesar 9,51% dan peningkatan

luas tanah terbuka sebesar 133,21% (1,3 kali lipat) menyebabkan hasil air meningkat sebesar 8,52%, evapotranspirasi meningkat sebesar 5,94%, dan simpanan air menurun sebesar 14,46%. Kondisi ini sejalan dengan hasil penelitian serupa atas kegiatan pemanenan hutan di Viti Levu, Fiji. Kegiatan pemanenan dapat mengakibatkan aliran permukaan (*runoff*) dan aliran dasar (*baseflow*) meningkat masing-masing sebesar 10 dan 6% dari total curah hujan dalam setahun (1.613 mm). Adapun reforestasi lahan terbuka di DAS Murray-Darling, Australia dapat memberikan kontribusi hasil air rata-rata sebesar 0,3% (van Dijk *et al.* 2007; Waterloo *et al.* 2007). Meningkatnya hasil air dan evapotranspirasi tersebut diakibatkan oleh berkurangnya tutupan hutan dan meningkatnya lahan terbuka sehingga volume air hujan yang langsung sampai ke permukaan tanah dan menjadi *runoff* lebih besar. Perubahan penggunaan lahan dari hutan ke penggunaan lain yang terlalu besar dapat menurunkan kapasitas tampung air sebesar 5–30% (Buytaert *et al.* 2004).

Hydrology respons unit (HRU) merupakan kelompok (satuan tanah) yang memiliki respons hidrologi sama

Tabel 2 Hasil air pada kondisi tutupan lahan tahun 1990

Bulan	CH (mm)	Total hasil air (mm)	%	ET (mm)	%	Storage (mm)	%
1	262,60	12,43	4,73	104,77	39,90	145,40	55,37
2	334,30	81,41	24,35	109,89	32,87	143,00	42,78
3	439,70	170,06	38,68	163,83	37,26	105,81	24,06
4	213,10	145,82	68,43	100,37	47,10	-33,09	-15,53
5	366,80	194,55	53,04	115,74	31,55	56,51	15,41
6	1.620,00	156,82	96,80	71,19	43,94	-66,01	-40,75
7	210,50	126,25	59,98	85,78	40,75	-1,53	-0,73
8	36,30	86,62	238,62	45,42	125,12	-95,74	-263,75
9	163,60	59,63	36,45	86,38	52,80	17,59	10,75
10	16,30	31,39	192,58	27,97	171,60	-43,06	-264,17
11	326,60	63,05	19,30	124,12	38,00	139,43	42,69
12	585,30	259,10	44,27	116,64	19,93	209,56	35,80
Total	3.117,10	1.387,13	44,50	1.152,10	36,96	577,87	18,54

Tabel 3 Hasil air pada kondisi tutupan lahan tahun 2003

Bulan	CH (mm)	Total hasil air (mm)	%	ET (mm)	%	Storage (mm)	%
1	145,80	102,09	70,02	87,92	60,30	-44,21	30,32
2	241,90	121,76	50,33	96,11	39,73	24,03	9,93
3	354,10	147,08	41,54	164,71	46,52	42,31	11,95
4	192,40	136,13	70,75	91,78	47,70	-35,51	-18,46
5	223,80	163,40	73,01	90,55	40,46	-30,15	-13,47
6	49,90	76,99	154,29	32,46	65,05	-59,55	-119,34
7	199,10	75,89	38,12	74,55	37,44	48,66	24,44
8	118,40	63,82	53,90	77,09	65,11	-22,51	-19,01
9	207,60	57,59	27,74	96,73	46,59	53,28	25,66
10	278,60	117,50	42,18	105,75	37,96	55,35	19,87
11	251,20	112,32	44,71	107,33	42,73	31,55	12,56
12	350,40	210,93	60,20	96,12	27,43	43,35	12,37
Total	2.613,20	1.385,50	53,02	1.121,10	42,90	106,60	4,08

Tabel 4 Nilai CN DAS Barito Hulu dan hasil prediksi erosi tahun 1990 dan 2003

Tutupan dan penggunaan lahan	Tahun 1990			Tahun 2003		
	Nilai CN	I (mm)	Erosi (t ha ⁻¹)	Nilai CN	I (mm)	Erosi (t ha ⁻¹)
Badan air	65,00	27,35	7,44	65,00	27,35	13,76
Hutan	57,50	37,55	0,19	51,25	48,32	2,41
Kebun campuran	78,00	14,33	20,63	73,00	18,79	42,19
Kebun karet rakyat	54,82	41,87	0,12	49,27	52,31	1,73
Semak belukar	62,00	31,14	10,10	62,00	31,14	18,30
Lahan terbangun	61,41	31,92	40,77	59,54	34,52	54,67
Tanah terbuka	71,45	20,30	33,88	67,11	24,90	47,49
Pertanian lahan kering	75,40	16,57	51,02	74,20	17,66	84,66
Kebun kelapa sawit	-	-	-	-	-	-
Rata-rata	65,70	27,63	20,52	62,67	31,87	33,15

berdasarkan nilai *curve number* (CN). Nilai CN dihasilkan dari interaksi antara sifat-sifat fisik tanah dengan tutupan lahan. Tanah-tanah Ultisol yang berhumus umumnya memiliki porositas yang baik terutama jika tutupan lahannya adalah hutan atau kebun karet. Kondisi ini umumnya akan menghasilkan nilai CN yang kecil sehingga kemampuan untuk menyerap air hujan akan lebih besar. Nilai CN dan erosi DAS Barito Hulu disajikan pada Tabel 4.

Peningkatan nilai CN menunjukkan kemampuan lahan untuk meretensi air hujan (I) menjadi semakin kecil (Tabel 4). Tutupan hutan dan kebun karet memiliki nilai CN rata-rata paling kecil sehingga memiliki kemampuan menyerap air hujan lebih besar dan menghasilkan erosi paling kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengaruh kombinasi sifat fisik tanah dan tutupan lahan untuk menangkap dan menahan air hujan akibat dari perubahan struktur tanah oleh sistem perakaran dapat dijadikan sebagai indikator karakteristik DAS yang bersangkutan. Tutupan hutan dan kebun karet tahun 1990 memiliki nilai CN rata-rata paling kecil dibandingkan dengan tutupan lahan lainnya, berturut-turut adalah 57,50 dan 54,82 dengan erosi yang dihasilkan masing-masing sebesar 0,19 dan 0,12 t ha⁻¹. Tutupan hutan pada 2003 atas nilai CN rata-rata turun menjadi 51,25 dan kebun karet turun menjadi 49,27 dengan erosi yang dihasilkan masing-masing sebesar 2,41 dan 1,73 t ha⁻¹.

Menurunnya luas hutan dan kebun karet, serta meningkatnya luas tanah terbuka di DAS Barito Hulu berpengaruh terhadap meningkatnya erosi rata-rata per tahun sebesar 12,63 t ha⁻¹. Meningkatnya erosi tersebut disebabkan karena curah hujan yang langsung menerpa permukaan tanah menjadi lebih besar sehingga agregat tanah mudah lepas dan pecah dan pada akhirnya terangkut aliran permukaan dalam jumlah lebih besar. Ispriyanto *et al.* (2001) menyatakan bahwa penebangan hutan pinus (dengan peremajaan sistem tumpangsari) dapat meningkatkan erosi rata-rata sebesar 97,79%. Erosi yang terjadi pada lahan bekas penebangan hutan dalam kondisi terbuka rata-rata sebesar 22,28 t ha⁻¹ tahun⁻¹, sedangkan pada lahan bekas penebangan hutan yang sudah tertutup vegetasi, erosi yang terjadi rata-rata sebesar 2,55 t ha⁻¹ tahun⁻¹ (Suwarna *et al.* 2009).

Tabel 5 Hasil validasi debit model SWAT terhadap model SCS

Bulan	Curah hujan (mm)	Debit (mm)	
		Hasil model SCS	Hasil model SWAT
Januari	358,60	234,52	118,35
Februari	241,90	158,20	132,74
Maret	258,00	168,73	144,16
April	688,50	450,26	452,86
Mei	323,00	211,23	269,81
Juni	327,20	213,98	250,19
Juli	316,70	207,11	272,82
Agustus	162,20	106,07	165,18
September	61,90	40,48	83,07
Oktober	259,70	169,84	68,59
November	415,80	271,92	190,95
Desember	191,80	125,43	156,69
Total	3.605,30	2.357,77	2.305,40

Hasil validasi model SWAT terhadap model SCS Validasi model dilakukan dengan cara membandingkan hasil model SWAT terhadap hasil perhitungan model SCS. Hal ini dilakukan karena adanya keterbatasan data observasi (pengukuran) lapangan. Hasil perhitungan model SCS diasumsikan mendekati kondisi debit sesungguhnya di lapangan. Perhitungan validasi model menghasilkan $R^2 = 0,82$ dan $NSI/\alpha = 0,69$. Koefisien determinasi menunjukkan kedekatan antara nilai yang dihasilkan oleh model SWAT dengan hasil model SCS yang diasumsikan sebagai nilai terdekat dengan kondisi sesungguhnya di lapangan. Hasil perhitungan model SCS dan model SWAT rata-rata bulanan disajikan pada Tabel 5. Berdasarkan kriteria NSI tersebut maka hasil simulasi model SWAT adalah sangat memuaskan jika hasil perhitungan model SCS benar-benar mendekati kondisi yang sebenarnya di lapangan.

Kesimpulan

Tutupan lahan DAS Barito Hulu mengalami penurunan luas dalam kurun waktu 1990–2003. Penyebab dominan

penurunan tutupan lahan ini adalah deforestasi. meskipun deforestasi yang terjadi selama 13 tahun tersebut dianggap belum signifikan, namun perubahan tutupan lahan tersebut sudah dapat mempengaruhi respons hidrologi DAS dalam bentuk peningkatan hasil air, peningkatan evapotranspirasi, peningkatan erosi tanah, dan penurunan simpanan air (*water storage*). Deforestasi di DAS Barito Hulu diharapkan tidak berlangsung terus dalam skala yang lebih besar karena dapat mengakibatkan degradasi lahan yang pada akhirnya menurunkan kualitas dan produktivitas sumber daya lahan.

Daftar Pustaka

- Arnold JG, Fohrer N. 2005. SWAT 2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling. *Hydrological Processes* (19):563–572.
- Buytaert W, Wyseure G, De Bievre B, Deckers J. 2004. The effect of land-use changes on the hydrological behavior of Histic Andosols in south Ecuador. *Hydrological Processes* (19):3985–3997.
- Gosian AK, Sandhya R, Srinivasan R, Reddy NG. 2005. Return-flow assessment for irrigation command in the Palleru River Basin using SWAT model. *Hydrological Processes* (19):673–682.
- Heuvalmans G, Garcia-Qujano JF, Muys B, Feyen J, Coppin P. 2005. Modelling the water balance with SWAT as part of the land use impact evaluation in a life cycle study of CO₂ emission reduction scenarios. *Hydrological Processes* (19):729–748.
- Ispriyanto R, Arifjaya NM, Hendrayanto. 2001. Aliran permukaan dan erosi di areal tumpangsari tanaman *Pinus merkusii* Jungh Et de Vriese. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 7(1):37–47.
- Jacobs JH, Angerer J, Srinivasan R, Kaitho R, Stuth J, Clarke N. 2005. Integrating ground and charm weather data with the SWAT hydrology model to assess reforestation impacts in the Upper Tana River Basin of Kenya. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34.
- Jayakrishnan R, Srinivasan R, Santhi C, Arnold JG. 2005. Advances in the application of the SWAT model for water resources management. *Hydrological Processes* 19:749–762.
- Kirsch K, Kirsch A, Arnold JG. 2002. Predicting sediment and phosphorus loads in the rock river basin using SWAT. *American Society of Agricultural Engineers* 45(6):1757–1769.
- Luzio MD, Arnold JG, Srinivasan R. 2005. Effect of GIS data quality on small watershed stream flow and sediment simulations. *Hydrological Processes* 19:629–650.
- Moon J, Srinivasan R, Jacobs JH. 2004. Stream flow estimation using spatially distributed rainfall in the Trinity River Basin, Texas. *American Society of Agricultural Engineers* 47(5):1445–1451.
- Santhi C, Arnold JG, Williams JR, Dugas WA, Srinivasan R, Hauck LM. 2001. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and non point sources. *American Water Resources Association* 37(5):1169–1187.
- Santhi C, Muttiah RS, Arnold JG, Srinivasan R. 2005. A GIS-based regional planning tool for irrigation demand assessment and savings using SWAT. *American Society of Agricultural Engineers* 48(1):137–147.
- Schulze RE. 2000. Modelling hydrological responses to land use and climate change: a Southern African perspective. *Ambio* 29(1):12–22.
- Susswein PM, van Noordwijk M, Verbist B. 2001. Forest watershed functions and tropical land use change. ASB Lecture note 7. Di dalam: van Noordwijk M, S Williams, Verbist B, editor. *Towards Integrated Natural Resource Management in Forest Margins of the Humid Tropics: Local Action and Global Concerns*. Bogor: ICRAF Southeast Asia Programme.
- Suwarna U, Arief H, Ramadhon M. 2009. Erosi tanah akibat operasi pemanenan hutan. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 15(2):61–65.
- van Dijk AIJM, Hairsine PB, Arancibia JP, Dowling TI. 2007. Reforestation, water vailability and stream salinity: a multi-scale analysis in the Murray-Darling Basin, Australia. *Forest Ecology and Management* 251: 94–109.
- Waterloo MJ, Schellekens J, Bruijnzeel LA, Rawaqa TT. 2007. Changes in catchment runoff after harvesting and burning of a *Pinus caribaea* plantation in Viti Levu, Fiji. *Forest Ecology and Management* 251:31–44.
- Weng Q. 2001. Modeling urban growth effects on surface runoff with the integration of remote sensing and GIS. *Environmental Management* 28(6):737–748.