

DAMPAK PERAMBAHAN HUTAN TAMAN NASIONAL LORE LINDU TERHADAP FUNGSI HIDROLOGI DAN BEBAN EROSI (STUDI KASUS DAERAH ALIRAN SUNGAI NOPU HULU, SULAWESI TENGAH)

Yayat Hidayat¹⁾, Naik Sinukaban¹⁾, Hidayat Pawitan²⁾, dan Suria Darma Tarigan¹⁾

ABSTRACT

IMPACT OF RAINFOREST CONVERSION ON HYDROLOGIC FUNCTION AND SOIL EROSION IN LORE LINDU NATIONAL PARK (CASE STUDY OF NOPU UPPER CATCHMENT, CENTRAL SULAWESI)

The research was proposed to identify rainforest conversion impact on hydrologic function and soil erosion, and its simulation using ANSWERS model. Surface runoff and soil erosion were measured in soil erosion plots and outlet of Nopu Upper Catchment. Rainforest conversion to agricultural lands were significantly increased soil erosions and surface runoffs. Soil erosion from maize and peanut rotation was higher 2061.8% than natural forest. It higher value also in intercropping young age cocoa, maize and cassava and maize were 2023.8% and 2012.3% respectively. While surface runoffs increased up to 761.7% on bare plot, 567.5% on medium age cocoa, 446.8% on young age cocoa, 415.1% on intercropping young age cacao, maize and cassavas, 405.9% on old cocoa, and 329.5% on intercropping young age cacao and cassavas. Crop and management factor (C factor) value is significantly corelated with outputs of ANSWERS model. Using daily C factors, the ANSWERS model performs well in predicting soil erosion which is showed by determination coefficient ($R^2 = 0.89$), model efficiency (0.86), and average of percentage model deviations (24.1%). Whereas using USLE C factor, model accuracy lower which represented by model coefficient (0.40) and average of percentage model deviations (63.6%). Using daily C factors, ANSWERS model simulation indicates rainforest conversion into agricultural lands on Nopu Upper Catchment has caused soil and water loss 3190.5 ton/year and 115441.0 m³/year, respectively. Agroforestry system practices in agricultural lands which in line with reforestation in stream line and steep agricultural areas (slope > 40%) was effective to reduce soil erosions up to 77.6%.

Keywords: cocoa plantation, C factor, rainforest conversion, soil erosion, surface runoff

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dampak konversi hutan pada fungsi hidrologi dan erosi tanah, dan mensimulasikannya dengan menggunakan model ANSWERS. Erosi dan aliran permukaan diukur pada plot erosi dan outlet DAS Nopu Hulu. Konversi hutan menjadi lahan pertanian nyata meningkatkan aliran permukaan dan erosi. Erosi dari lahan rotasi jagung dan kacang tanah lebih tinggi 2061,8% dibandingkan dengan hutan alam. Demikian juga pada lahan tumpangsari kakao muda, jagung dan ketela pohon dan lahan jagung monokultur lebih tinggi masing-masing sebesar 2023,8% dan 2012,3%. Aliran permukaan meningkat hingga 761,7% pada plot erosi terbuka,

567,5% pada kakao sedang, 446,8% pada kakao muda, 415,1% pada tumpangsari kakao muda, jagung dan ketela pohon, 405,9% pada kakao dewasa, dan 329,5% pada tumpangsari kakao muda dan ketela pohon. Nilai faktor tanaman dan pengelolaannya (faktor C) harian merupakan parameter input yang lebih sesuai untuk model ANSWERS. Dengan menggunakan nilai faktor C harian, model ANSWERS memberikan hasil prediksi erosi yang lebih baik seperti ditunjukkan oleh koefisien determinasi ($R^2 = 0,89$), efisiensi model (0,86) dan kesalahan model rata-rata 24,1%. Keluaran model menjadi kurang memuaskan bila menggunakan nilai faktor C USLE seperti ditunjukkan oleh nilai efisiensi model (0,40) dan kesalahan model rata-rata (63,6%). Simulasi model ANSWERS menunjukkan konversi hutan menjadi areal pertanian di DAS Nopu Hulu menyebabkan erosi sebesar 3190,5 ton/tahun dan kehilangan air sebesar 115441,0 m³/tahun. Penerapan teknik agroforestri pada lahan pertanian yang disertai dengan penghutanan kembali jalur aliran sungai dan lahan pertanian berlereng curam

¹⁾ Departemen Ilmu Tanah dan Sumber daya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Telp. 0251- 422321 E-mail: yahida_65@yahoo.com

²⁾ Departemen Meteorologi dan Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

(lereng > 40%) efektif mengurangi erosi tanah hingga 77,6%.

Kata kunci: aliran permukaan, erosi tanah, faktor C, kakao, konversi hutan

PENDAHULUAN

Taman Nasional Lore Lindu (TNLL) merupakan kawasan konservasi sumber daya alam di Provinsi Sulawesi Tengah yang meliputi areal seluas 229 000 ha, berperan penting sebagai zona penyangga khususnya bagi wilayah kota Palu, Donggala, dan Poso (Departemen Kehutanan 1993). Perambahan hutan di kawasan ini berlangsung sejak tahun 1999 terutama di wilayah Dongi-Dongi (Yayasan Tanah Merdeka 2002) dan dikhawatirkan telah menyebabkan penurunan fungsi hidrologi dan peningkatan laju erosi.

Terbukanya tutupan lahan akibat perambahan hutan menyebabkan butiran air hujan langsung menimpa permukaan tanah sehingga terjadi peningkatan erosi percik (*splash erosion*) dan penurunan infiltrasi air ke dalam tanah yang pada gilirannya meningkatkan aliran permukaan dan erosi tanah. Peningkatan aliran permukaan dan erosi semakin tinggi apabila kegiatan pembukaan hutan dilakukan pada lahan berlereng curam dan kegiatan usahatani tidak dibarengi dengan penerapan tindakan konservasi tanah dan air. Tingginya aliran permukaan pada musim penghujan menyebabkan sebagian besar air hilang keluar dari wilayah DAS yang mengakibatkan menurunnya ketersediaan air di musim kemarau. Peningkatan erosi tanah menyebabkan hilangnya tanah lapisan atas (*top soil*) yang relatif subur sehingga tanah-tanah tererosi kesuburannya menjadi semakin rendah.

Untuk mempelajari ciri perubahan penggunaan lahan akibat perambahan hutan dan mempelajari dampak perambahan hutan terhadap perubahan fungsi hidrologi dan laju erosi, maka penelitian ini dilakukan di DAS Nopu Hulu, Desa Bulili, Kecamatan Palolo, Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah. Lokasi penelitian meliputi areal seluas \pm 232,8 ha, terletak pada wilayah perbukitan tempat kegiatan perambahan hutan oleh masyarakat setempat masih terus dilakukan.

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi dampak perubahan penggunaan lahan (termasuk perambahan hutan) di DAS Nopu Hulu (kawasan Taman Nasional Lore Lindu) pada fungsi hidrologi dan laju erosi, serta mensimulasikan perubahan penggunaan lahan tersebut dengan menggunakan model ANSWERS.

METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian lapang dilakukan di DAS Nopu Hulu, Desa Bulili, Kecamatan Palolo, Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah. Sifat fisis tanah dan pengolahan data dianalisis di Bagian Konservasi Tanah dan Air, Departemen Ilmu Tanah dan Sumber-daya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Penelitian berlangsung mulai bulan April 2005 hingga November 2006.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah plat seng, kayu, paku, semen, bak penampung aliran permukaan dan erosi, tong plastik, dan selang untuk pembuatan plot erosi, kertas saring, peta topografi (1:100.000), dan peta tanah (1:100.000). Peralatan yang digunakan meliputi *automatic rainfall recorder (ARR)*, *automatic water level recorder (AWLR)*, *data logger*, *current meter*, *guelph permeameter*, peralatan untuk pengukuran erosi dan pengambilan sampel sedimen, peralatan untuk analisis laboratorium, model ANSWERS, ArcView 3.2, dan Surfer 8.0.

Pengukuran Aliran Permukaan dan Erosi

Aliran permukaan dan erosi diukur pada plot erosi dan *outlet* DAS. Plot erosi berukuran 4 m \times 5 m dibangun pada penggunaan lahan hutan alam, hutan sekunder, dan lahan terbuka di sekitar areal hutan. Pada tanaman kakao dewasa (15-20 tahun), kakao sedang (5-8 tahun), tanaman jagung monokultur, dan lahan terbuka sekitar lahan kakao, plot erosi dibangun dengan ukuran 2 m \times 8 m. Plot erosi berukuran lebih sempit (2 m \times 4 m) dibangun pada tanaman kakao muda (< 3 tahun), tumpang sari kakao muda dan pisang, tumpang sari kakao muda dan ketela pohon, tumpang sari kakao muda, ketela pohon dan jagung,

semak belukar, lahan alang-alang, dan lahan terbuka di sekitar lahan pertanaman jagung.

Aliran permukaan dan erosi pada plot erosi diukur setiap hari hujan dengan mengukur volume aliran permukaan dan bobot sedimen yang tertampung dalam bak penampung yang diletakkan di bagian ujung bawah plot erosi. Debit aliran dan erosi pada *outlet* DAS diukur melalui pengukuran laju aliran dan pengambilan sampel sedimen pada berbagai tinggi muka aliran yang keluar dari *outlet* DAS. Tinggi aliran permukaan dicatat secara kontinu menggunakan AWLR dan laju arus aliran diukur menggunakan *current meter*.

Parameter Input Model ANSWERS

Model ANSWERS dijalankan dengan menggunakan raster sel 50 m × 50 m dengan nilai parameter masukan model diperoleh melalui pengukuran lapangan, analisis laboratorium, serta data sekunder dan nilai-nilai yang tersedia pada manual ANSWERS (Beasley dan Huggins 1981). Curah hujan dan intensitasnya diukur menggunakan ARR (interval 10 menit) yang diletakkan pada areal lahan terbuka, lahan perladangan, hutan sekunder, dan hutan primer.

Ciri tanah yang meliputi porositas total, kadar air kapasitas lapangan, kadar air tanah awal sebelum kejadian hujan, kapasitas infiltrasi konstan, selisih kapasitas infiltrasi maksimum, dan kapasitas infiltrasi konstan, eksponen infiltrasi, kedalaman zone kontrol infiltrasi, dan erodibilitas tanah. Ciri vegetasi meliputi volume intersepsi potensial, persen penutupan lahan, koefisien kekasaran permukaan, tinggi kekasaran maksimum, koefisien *mannig* untuk aliran permukaan, faktor pengelolaan tanaman, dan tindakan konservasi tanah. Ciri hidrologi terdiri atas jaringan dan dimensi saluran, kemiringan saluran, dan koefisien *mannig*.

Nilai Faktor C Model ANSWERS

Nilai faktor C harian ditentukan dengan membandingkan jumlah erosi yang terjadi pada plot erosi dengan penggunaan lahan tertentu terhadap jumlah erosi dari plot erosi yang diolah bersih menurut lereng dan tidak ditanami pada setiap hari hujan. Nilai faktor C model USLE ditentukan berdasarkan perbandingan

jumlah erosi yang terjadi dari suatu lahan dengan pengelolaan tertentu terhadap jumlah erosi dari areal yang identik yang tanahnya diolah bersih menurut lereng dan tidak ditanami (Wischmeier dan Smith 1978) selama 2 musim tanam. Nilai faktor C dihitung dengan mempertimbangkan fase pertumbuhan tanaman (penutupan tajuk tanaman) dan energi kinetik hujan yang mempengaruhi erosi pada setiap fase pertumbuhan tanaman (Wischmeier dan Smith 1978; Arsyad 2000)

Keeratan data erosi hasil prediksi model ANSWERS dan erosi hasil pengukuran dianalisis melalui regresi linear sederhana dengan menggunakan program Microsoft Excel. Keeratan tersebut ditunjukkan oleh koefisien determinasi (R^2), nilai rata-rata persen kesalahan model dan efisiensi model Nash-Sutcliffe (1973 dalam Byne 2000).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aliran Permukaan dan Erosi pada Skala Plot

Konversi hutan menjadi lahan pertanian menyebabkan peningkatan aliran permukaan. Pada kemiringan lereng yang identik (39-42%) aliran permukaan pada plot erosi yang diolah bersih dan diberakari (149,5 mm) lebih tinggi sebesar 76,7% dibandingkan dengan aliran permukaan pada lahan hutan (25,7 mm) (Tabel 1). Peningkatan aliran permukaan juga terjadi pada kakao berumur sedang (567,5%), kakao muda (446,8%), kakao muda yang ditumpang-sarikan dengan jagung dan ketela pohon (415,1%), kakao dewasa (405,9%), dan kakao muda yang ditumpang-sarikan dengan ketela pohon (329,5%).

Berkurangnya penutupan tajuk vegetasi, menurunnya jumlah air intersepsi dan menurunnya jumlah air yang dapat diinfiltrasikan ke dalam tanah merupakan faktor utama penyebab peningkatan aliran permukaan. Permeabilitas tanah lapisan atas pada lahan hutan yang semula tergolong agak cepat-sangat cepat (10,14-40,26 cm/jam) menurun menjadi 1,02-2,05 cm/jam (agak lambat-sedang) pada lahan kakao berumur sedang, 1,28-3,00 cm/jam (agak lambat-sedang) pada lahan kakao dewasa, 1,32-6,38 cm/jam (agak lambat-agak cepat) pada lahan kakao muda, 4,44-9,00 cm/jam (sedang-agak cepat) pada lahan jagung dan kacang tanah, 7,40-17,75 (agak

Tabel 1 Aliran permukaan pada plot erosi pada berbagai penggunaan lahan dengan kemiringan lereng 39-42% (Curah hujan: 1485.7 mm)

Penggunaan Lahan	Aliran Permukaan			
	Total	% Hujan	Harian (mm)	Peningkatan Rata-rata terhadap Hutan Alam (%)
	mm			
Hutan Alam	25,7	1,73	0-2,93*	-
Kakao Dewasa	72,9	4,91	0-7,04*	405,9
Kakao Sedang	103,5	6,97	0-10,95*	567,5
Kakao Muda	100,0	6,73	0-9,56*	446,8
Kakao Muda+Jagung+Ketela Pohon	80,8	5,44	0-5,63*	415,1
Kakao Muda+Pisang	77,8	5,24	0-6,19*	313,0
Jagung	63,4	4,27	0-4,78*	251,6
Jagung-Kacang Tanah	63,9	4,30	0-5,51*	240,3
Kakao Muda+Ketela Pohon	80,1	5,39	0-5,81*	329,5
Semak Belukar	69,4	4,67	0-4,53*	269,5
Alang-Alang	59,8	4,03	0-4,15*	247,9
Lahan terbuka diolah bersih	149,6	10,07	0-11,78*	761,7

*berbeda sangat nyata pada $\alpha_{0,01}$

cepat-cepat) pada lahan lahan semak belukar dan alang-alang. Permeabilitas tanah pada lahan terbuka yang diolah bersih dan tidak ditanami tanaman secara terus menerus tergolong sangat lambat (0,59-0,8 cm/jam).

Erosi Tanah

Konversi hutan menjadi lahan pertanian menyebabkan peningkatan erosi tanah (Tabel 2). Dibandingkan dengan hutan alam, total erosi tanah pada lahan tumpang gilir jagung dan kacang tanah meningkat sebesar 2061,8% atau dari 284,2 kg/ha (hutan alam) menjadi 1642,6 kg/ha (tumpang gilir jagung dan kacang tanah). Peningkatan erosi tanah juga terjadi pada lahan tumpang sari kakao muda dengan jagung dan ketela pohon, jagung monokultur, tumpang sari kakao mudadan ketela pohon, dan pada lahan kakao muda masing-masing sebesar 2023,8, 2012,1, 1944,9, dan 1916,5 %.

Peningkatan erosi setelah pembukaan hutan terutama disebabkan karena hilangnya penutupan lahan baik oleh tajuk tanaman (*canopy cover*) maupun serasah tanaman (*basal cover*) sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan daya rusak butiran

Tabel 2 Erosi tanah pada plot erosi pada berbagai penggunaan lahan dengan kemiringan lereng 39-42% (Curah hujan: 1485.7 mm)

Penggunaan Lahan	Erosi Tanah		
	Total	Harian (kg/ha)	Peningkatan Rata-rata terhadap Hutan Alam (%)
	(kg/ha)		
Hutan Alam	284,2	0-46,4*	-
Kakao Dewasa	1448,3	0-134,7*	1717,4
Kakao Sedang	1368,5	0-116,3*	1621,3
Kakao Muda	1553,5	0-140,8*	1916,5
Kakao Muda+Jagung+Ketela Pohon	1535,3	0-104,9*	2023,8
Kakao Muda+Pisang	1292,3	0-116,2*	1650,6
Jagung	1499,3	0-110,8*	2012,1
Jagung-Kacang Tanah	1642,6	0-127,7*	2061,8
Kakao Muda+Ketela Pohon	1528,8	0-118,6*	1944,9
Semak Belukar	1125,2	0-99,6*	1140,0
Alang-Alang	1043,4	0-90,7*	877,7

*berbeda sangat nyata pada $\alpha_{0,01}$

hujan (*splash erosion*) dan meningkatnya aliran permukaan. Kegiatan pembersihan lahan dan pengolahan tanah sederhana pada waktu penanaman tanaman pertanian serta kegiatan pembersihan gulma dan pembumbunan tanaman merupakan penyebab utama tingginya erosi tanah pada lahan pertanian jagung yang ditumpangsarikan dengan kacang tanah, pertanian jagung monokultur, dan pertanian kakao muda yang ditumpangsarikan dengan tanaman jagung dan ketela pohon. Peningkatan erosi yang terjadi sejalan dengan hasil penelitian Roose (1986) yang menunjukkan penebangan vegetasi alami telah menyebabkan terjadinya peningkatan erosi tanah sampai lebih dari 10 kali lipat.

Aliran Permukaan dan Erosi pada Skala DAS

Aliran permukaan dan erosi tanah meningkat sejalan dengan meningkatnya curah hujan dan aliran permukaan yang dihasilkan (Tabel 3). Erosi tanah tertinggi sebesar 250,45 ton (1,076 ton/ha) diperoleh pada kejadian hujan sebesar 93,8 mm. Jumlah tanah yang dierosikan relatif rendah dibandingkan dengan erosi tanah yang terjadi didaerah tropika lainnya karena curah hujan yang jatuh di wilayah tersebut mempunyai intensitas yang relatif rendah dan turun dalam waktu yang sangat panjang ($\pm 16,5$ jam).

Tabel 3 Aliran permukaan dan erosi tanah pada beberapa kejadian hujan di DAS Nopu Hulu, Sulawesi Tengah

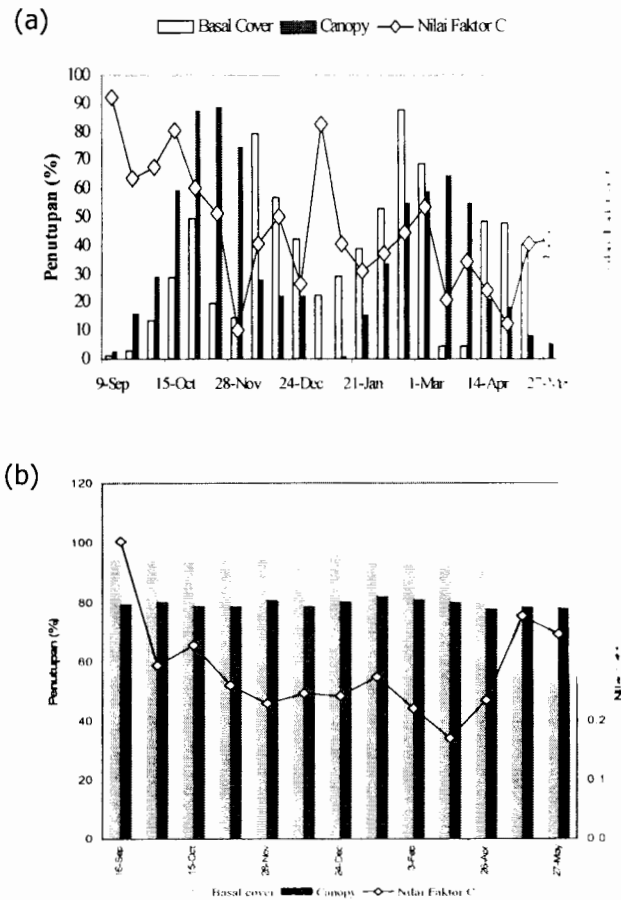
Curah Hujan (mm)	Aliran Permukaan Langsung		Erosi Tanah	
	Debit Puncak (lt/dt)	Volume (mm)	Total (ton)	Rata-rata (ton/ha)
6,8	13,3	0,03	0,52	0,002
8,9	75,8	0,09	2,07	0,009
9,5	87,4	0,59	12,82	0,055
16,6	31,3	0,68	5,12	0,022
22,2	223,7	0,64	13,30	0,057
25,2	96,5	0,76	15,88	0,068
26,1	112,2	0,68	1,37	0,006
29,0	426,6	1,88	54,02	0,232
37,4	1065,9	7,32	79,20	0,340
38,5	256,7	1,94	15,52	0,067
41,5	1068,1	2,25	53,33	0,229
44,7	388,9	1,86	34,68	0,149
68,8	666,7	10,36	80,35	0,345
71,1	1576,0	13,70	197,98	0,850
93,8	1785,3	21,44	250,45	1,076

Nilai Faktor C Harian dan Model USLE

Nilai faktor C harian tanaman jagung dan kacang tanah beragam dengan curah hujan, tutupan tajuk tanaman (*canopy cover*) dan tutupan permukaan tanah oleh serasah dan gulma (*basal cover*). Nilai *faktor C* relatif lebih tinggi (0,83) pada awal penanaman karena tutupan tajuk tanaman masih sangat rendah (2,6%) dan permukaan tanah sangat bersih dengan basal cover 0,9%. Nilai *faktor C* kemudian menurun sejalan dengan peningkatan *canopy* dan *basal cover* dan meningkat kembali sebagai akibat terjadinya penurunan *canopy cover* dan panen. Sebaliknya pada tanaman tahunan (kakao dan hutan), *canopy* dan *basal cover* relatif stabil sehingga ragam nilai faktor C lebih disebabkan karena variasi curah hujan (Gambar 1). Nilai Nilai faktor C model USLE merupakan nilai tunggal untuk setiap penggunaan lahan yang berbeda dengan nilai faktor C harian yang nilainya beragam (Tabel 4).

Nilai Faktor C Model ANSWERS

Nilai faktor C merupakan parameter masukan model yang berkorelasi erat dengan jumlah erosi hasil prediksi model ANSWERS (Hidayat 2001). Beragamnya nilai faktor C harian (Tabel 4) secara implisit menunjukkan beragamnya jumlah erosi hasil prediksi model pada setiap hari hujan.

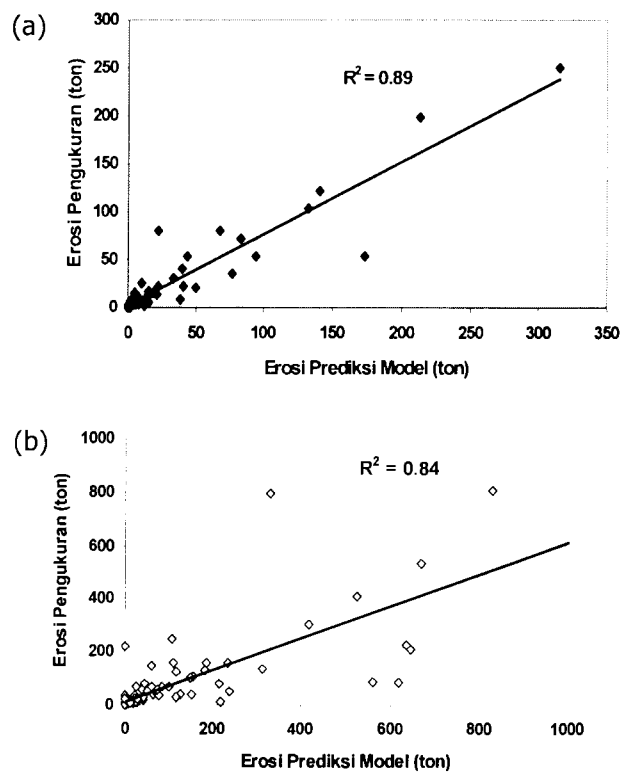


Gambar 1 Nilai faktor C harian tanaman jagung (a) dan tanaman kakao dewasa (b) yang ditanam secara monokultur

Tabel 4 Nilai faktor C model USLE dan nilai faktor C harian berbagai lahan

Penggunaan lahan	Nilai Faktor C USLE	Nilai Faktor C Harian	
		Kisaran Nilai	Rata-rata
Kakao Dewasa	0,37	0,057 – 0,868	0,29
Kakao Sedang	0,31	0,086 – 0,762	0,28
Kakao Muda	0,34	0,030 – 0,794	0,31
Kakao Muda + Jagung	0,35	0,079 – 0,913	0,34
Kakao Muda + Jagung+Ketela Pohon	0,35	0,100 – 0,825	0,34
Vanili	0,17	0,008 – 0,402	0,14
Jagung monokultur	0,29	0,088 – 0,877	0,38
Jagung-Kacang Tanah (rotasi)	0,36	0,097 – 0,837	0,40
Semak Belukar	0,22	0,024 – 0,397	0,20
Hutan	0,04	0,0001 – 0,09	0,03

Model ANSWERS dengan parameter input faktor C harian memberikan hasil prediksi erosi yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan nilai faktor C USLE seperti ditunjukkan oleh koefisien determinasi (R^2) masing-masing sebesar 0.89 untuk faktor C harian dan 0,84 untuk faktor C USLE (Gambar 2). Keakuratan penggunaan nilai faktor C harian juga dicerminkan oleh nilai efisiensi model sebesar 0.86 dan nilai persen kesalahan rata-rata yang relatif rendah (24,1%). Nilai koefisien determinasi ($R^2 = 0,89$) yang hampir sama dengan nilai efisiensi model (0,86) menunjukkan bahwa model ANSWERS dengan nilai parameter faktor C harian mampu memprediksi erosi secara baik, walaupun hasil prediksi model tersebut masih lebih tinggi dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan rata-rata kesalahan sebesar 24,1%.



Gambar 2 Korelasi erosi hasil prediksi model ANSWERS dan erosi hasil pengukuran dengan nilai faktor C Harian (a), dan nilai faktor C USLE (b) ($n = 88$)

Penggunaan nilai faktor C USLE sebagai parameter input model ANSWERS memberikan hasil prediksi yang kurang memuaskan. Nilai efisiensi model

yang relatif rendah (0,40) yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan nilai koefisien determinasinya (0,84) mengindikasikan bahwa hasil prediksi model tersebut mengalami deviasi yang cukup besar. Hasil prediksi model *over estimate* dengan rata-rata persen kesalahan 63,6% (Tabel 5).

Tabel 5 Rerata persen kesalahan model ANSWERS dalam memprediksi erosi DAS pada beberapa kejadian hujan

Curah Hujan (mm)	Erosi Prediksi ANSWERS (ton)		Erosi Pengukuran (ton)	Persen Kesalahan	
	C Harian	C USLE		C Harian	C USLE
6,8	0,657	0,473	0.516	27.4	-8.3
25,2	15,01	11,09	15.88	-5.5	-30.3
38,5	19,40	23,49	15.52	25.0	51.4
41,5	44,09	66,92	53.33	-17.3	25.5
48,1	132,28	143,76	103.30	28.1	39.2
56,7	93,97	103,27	52.98	77.4	94.9
87,6	140,20	264,84	122.29	14.6	116.6
93,8	314,68	398,36	250.45	25.6	59.1
Rata-rata dari seluruh kejadian hujan				24,1	63,6

Dampak Perambahan Hutan pada Aliran Permukaan dan Erosi pada Skala DAS

Konversi hutan menjadi lahan pertanian telah mengakibatkan peningkatan aliran permukaan dan erosi (Tabel 1 dan 2). Besaran dampak yang diakibatkan perambahan hutan tersebut bergantung pada luas hutan yang dibuka dan penyebarannya dalam wilayah DAS. Dampak perambahan hutan di analisis menggunakan model ANSWERS dengan menggunakan nilai faktor C harian dan curah hujan selama 1 tahun (2401,8 mm).

Hasil simulasi model ANSWERS menunjukkan bahwa konversi hutan menjadi areal pertanian di DAS Nopu Hulu telah menyebabkan kehilangan air sebanyak 115441 m³/tahun dan erosi tanah sebesar 3190,5 ton/tahun. Laju aliran permukaan dan erosi pada kondisi hutan secara berturut-turut adalah sebesar 370168 m³/tahun dan 265,1 ton/tahun meningkat tajam menjadi sebesar 485610 m³/tahun dan 3 455,6 ton/tahun setelah ada perambahan hutan (Tabel 6).

Tabel 6 Kehilangan air dan erosi tanah akibat perambahan hutan di DAS Nopu Hulu hasil simulasi model ANSWERS pada beberapa kejadian hujan

Curah Hujan (mm)	Aliran Permukaan Langsung (m ³)		Kehilangan Air (m ³)	Erosi Tanah (ton)		Kehilangan Tanah (ton)
	Hutan	Perambahan Hutan		Hutan	Perambahan Hutan	
9,4	1247,8	1652,9	405,1	0,327	13,872	13,545
11,9	1657,5	2006,7	349,2	0,130	2,194	2,064
13,4	870,7	1103,5	232,8	0,020	5,261	5,241
14,3	1431,7	1478,3	46,6	0,075	1,590	1,515
17,3	1611,0	2411,8	800,8	0,003	2,929	2,926
22,2	3880,8	4658,3	777,6	3,123	21,070	17,947
25,2	3,157	3499,0	342,2	0,008	15,010	15,002
29,0	5096,0	6402,0	1306,0	1,026	39,891	38,865
33,4	7489,2	8951,2	1462,0	2,154	13,525	11,371
38,5	6667,4	7812,8	1145,4	1,061	19,404	18,343
39,5	2044,0	6111,0	4067,0	5,342	39,495	34,153
40,8	6253,0	7121,4	868,3	2,016	31,041	29,025
41,5	10054,6	11267,5	1212,9	5,874	44,086	38,212
44,7	8622,9	10308,4	1685,5	2,807	76,697	73,890
47,5	11975,2	14131,0	2155,7	15,122	82,940	67,818
56,7	3659,6	12713,2	9053,6	7,821	103,265	95,444
68,8	3203,3	15441,6	12238,3	0,151	67,949	67,798
71,1	6129,6	16573,0	10443,4	23,480	213,799	190,319
87,6	5347,4	19860,2	14512,8	19,897	140,204	120,307
93,8	28371,3	32948,7	4577,3	55,715	314,683	258,968
Total selama 1 tahun			115441,0			3190,448

Simulasi model ANSWERS menunjukkan bahwa penghutanan kembali lahan di sekitar jalur aliran Sungai Nopu yang berlereng sangat curam (lereng > 65%) dengan jarak 25 m kiri kanan sungai mampu menurunkan erosi rata-rata 58,2% dibandingkan dengan rata-rata erosi aktual (Tabel 7). Penurunan erosi menjadi semakin besar \pm 62,0% apabila penghutanan jalur aliran sungai diikuti dengan penghutanan kembali lahan pertanian belereng curam (lereng > 40%). Penerapan sistem agroforestri pada lahan pertanian rakyat (kakao dan ladang) mampu menurunkan erosi sebesar 52,4%, sedangkan kombinasi penerapan sistem agroforestri pada lahan pertanian rakyat yang diikuti dengan penghutanan kembali jalur aliran sungai Nopu dan lahan berlereng curam sangat efektif menurunkan erosi hingga \pm 77,6%. Penghutanan kembali seluruh areal DAS Nopu hulu mampu menurunkan erosi hingga 95,2%.

Efektivitas penataan penggunaan lahan dan penerapan teknik konservasi tanah dan air dalam menurunkan erosi menurun dengan meningkatnya jumlah curah hujan (Gambar 3). Pada curah hujan rendah (11,9 mm) penghutanan kembali seluruh areal DAS sangat efektif menurunkan erosi hingga 94,1%,

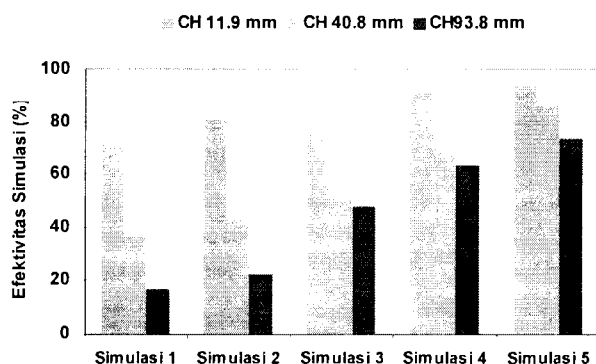
Tabel 7 Simulasi penataan penggunaan lahan DAS Nopu Hulu terhadap erosi tanah pada beberapa kejadian hujan dengan menggunakan model ANSWERS

Curah Hujan mm	Aktual ton	Erosi Tanah									
		Simulasi 1		Simulasi 2		Simulasi 3		Simulasi 4		Simulasi 5	
		ton	Δ^*	ton	Δ^*	ton	Δ^*	ton	Δ^*	ton	Δ^*
11,9	2,194	0,628	71,4	0,424	80,7	0,495	77,4	0,197	91,0	0,130	94,1
13,4	5,261	3,002	42,9	2,996	43,1	2,495	52,6	1,438	72,7	0,020	99,6
14,3	1,590	0,418	73,7	0,284	82,1	0,362	77,2	0,137	91,4	0,075	95,3
17,3	2,929	1,834	37,4	1,833	37,4	0,902	69,2	0,701	76,1	0,098	96,7
22,2	21,070	14,417	31,6	13,135	37,7	17,816	15,4	11,466	45,6	3,123	85,2
25,2	15,010	5,631	62,5	3,555	76,3	7,460	50,3	1,734	88,4	0,008	99,9
29,0	39,891	28,045	29,7	25,301	36,6	28,627	28,2	17,593	55,9	2,807	93,0
33,4	13,525	8,940	33,9	7,368	45,5	53,55	60,4	4,224	68,8	0,015	99,9
38,5	19,404	12,106	37,6	10,777	44,5	80,95	58,3	5,152	73,4	2,016	89,6
40,8	31,041	19,770	36,3	17,627	43,2	15,225	51,0	9,238	70,2	4,132	86,7
41,5	44,086	31,917	27,6	27,172	38,4	6,463	85,3	7,232	83,6	0,248	99,4
44,7	76,697	55,287	27,9	48,461	36,8	53,567	30,2	34,038	55,6	0,151	99,8
47,5	82,940	67,085	19,1	63,615	23,3	22,803	72,5	21,824	73,7	0,200	99,8
56,7	103,265	72,523	29,8	63,265	38,7	63,265	38,7	32,667	68,4	16,432	84,1
68,8	67,949	36,358	46,5	25,103	63,1	31,526	53,6	12,453	81,7	5,614	91,7
71,1	213,799	82,947	61,2	75,917	64,5	59,051	72,4	48,268	77,4	14,587	93,2
87,6	140,204	101,493	27,6	88,596	36,8	88,180	37,1	59,677	57,4	39,742	71,7
93,8	314,683	261,600	16,9	244,836	22,2	164,763	47,6	114,578	63,6	82,657	73,7

Keterangan :

- Simulasi 1 : Penghutanan kembali lahan sepanjang jalur aliran Sungai Nopu dalam jarak 25 m (kiri-kanan sungai)
- Simulasi 2 : Simulasi 1 + penghutanan kembali lahan pertanian rakyat berlereng curam (> 40%)
- Simulasi 3 : Penerapan teknik agroforestri pada lahan pertanian rakyat
- Simulasi 4 : Kombinasi simulasi 2 + simulasi 3
- Simulasi 5 : Penghutanan kembali seluruh areal DAS Nopu Hulu
- Δ^* : Penurunan erosi terhadap kondisi aktual (%)

tetapi pada curah hujan tinggi (93,8 mm) efektivitas tersebut menurun menjadi 73,7%. Untuk meningkatkan kelestarian sumber daya lahan dan lingkungan dalam suatu DAS, pengambilan kebijakan penataan penggunaan lahan dan penerapan teknik konservasi tanah dan air sebaiknya didasarkan atas simulasi dengan menggunakan curah hujan tertinggi.



Gambar 3 Efektivitas simulasi penggunaan lahan dalam menurunkan erosi tanah pada beberapa kejadian hujan

KESIMPULAN

Konversi hutan menjadi lahan pertanian di DAS Nopu Hulu telah menyebabkan peningkatan aliran permukaan dan erosi dan menurunkan fungsi hidrologi DAS. Konversi lahan tersebut menyebabkan peningkatan aliran permukaan secara berturut-turut sebesar 761,7, 567,5, 446,8, 415,1, 405,9, dan 329,5% pada lahan terbuka, kakao berumur sedang, kakao muda, kakao muda yang ditumpangсарikan dengan jagung dan ketela pohon, kakao dewasa, dan kakao muda yang ditumpangсарikan dengan ketela pohon. Erosi tanah meningkat sebesar 2061,8% pada lahan tumpang gilir jagung dan kacang tanah, 2023,8% pada lahan tumpang gilir kakao muda dengan jagung dan ketela pohon, dan 2012,3% pada lahan jagung monokultur.

Nilai faktor tanaman dan pengelolaannya (faktor C) berdasarkan fase pertumbuhan tanaman (harian) merupakan parameter input pengelolaan tanaman yang lebih sesuai sebagai parameter input model ANSWERS dibandingkan dengan faktor C yang digunakan pada model USLE.

Model ANSWERS dengan parameter input faktor C harian memberikan prediksi erosi yang lebih akurat dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,89, efisiensi model sebesar 0,86 dan rata-rata persen kesalahan model sebesar 24,1%. Jadi Nilai faktor C harian seyogianya digunakan sebagai parameter input model ANSWERS dan model prediksi erosi lainnya dengan basis kejadian hujan (*event based model*).

Simulasi model ANSWERS dengan parameter input faktor C harian menunjukkan bahwa konversi hutan menyebabkan kehilangan air dari DAS Nopu Hulu sebesar 115441,0 m³/tahun dan kehilangan tanah akibat erosi sebesar 3190,5 ton/tahun. Penerapan teknik agroforestri pada lahan pertanian rakyat yang dikombinasikan dengan penghutanan kembali lahan berlereng sangat curam sepanjang jalur aliran Sungai Nopu dan lahan pertanian berlereng curam secara efektif menekan erosi hingga 77,6%.

Untuk meminimalkan laju kehilangan air dan erosi tanah serta dampak kerusakan lahan akibat perambahan hutan di DAS Nopu Hulu, perlu dilakukan penghutanan kembali jalur aliran Sungai Nopu yang berlereng sangat curam, yang dikombinasikan dengan penerapan teknik agroforestri pada lahan pertanian rakyat dan penghutanan kembali lahan pertanian milik rakyat yang berlereng sangat curam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, yang telah membiayai penelitian ini melalui Penelitian Hibah Bersaing XIII. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada STORMA yang telah memberikan peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad S. 2000. Konservasi Tanah dan Air. Bogor, IPB Pr.
- Beasley DB, Huggins LF. 1981. ANSWERS, User's Manual. West Laffayette, Indiana: Agricultural Engineering Department, Purdue University.
- Byne W. 2000. Predicting Sediment and Channel Scour in the Process-Based Planning Model

- ANSWERS-2000 [tesis]. Blacksburg, Virginia: Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Departemen Kehutanan. 1993. Surat Keputusan Menteri Kehutanan No. 593/kpts-II/1993 tentang penetapan kawasan Taman Nasional Lore Lindu, Sulawesi Tengah. Jakarta: Departemen Kehutanan.
- Hidayat Y. 2001. Aplikasi Model ANSWERS dalam Mempredikasi Erosi dan Aliran Permukaan di DTA Bodong Jaya dan DAS Way Besay Hulu, Lampung Barat [tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Roose CW. 1986. Runoff and erosion before and after clearing depending on the type of crops in Western Africa p. 317-330. dalam Lal R, Sanchez PA, Cummings JR, RW, editor. Rotterdam: Land Clearing and Development in The Tropics.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning Agricultural Handbook No. 573. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture in Cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1965. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of The Rocky Mountains. Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation. Agricultural Handbook No. 282. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture in Cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station.
- Yayasan Tanah Merdeka. 2002. Dongi-Dongi. www.ytm.or.id/eng/newsdongi2.htm. [14 Mar. 2006].