

Reformulasi Faktor Tanaman dan Pengelolaannya dalam Model ANSWERS

Yayat Hidayat¹, Naik Sinukaban¹, Hidayat Pawitan², dan Kukuh Murti Laksono¹

Makalah diterima 20 November 2006 / Disetujui 26 November 2007

ABSTRACT

Reformulation of Crop and Management Factor in ANSWERS Model (Y. Hidayat, N. Sinukaban, H. Pawitan and K. Murti Laksono): Crop and management factor value is significantly correlated with outputs of ANSWERS model especially on soil erosion. Using daily crop and management factors (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 (2 cropping systems), predicted is much higher than measured soil erosion (over estimate). Output of the model is not satisfy; it is represented by model coefficient (0.40) and average of percentage model deviations (63.6%).

Keywords: ANSWERS model, crop and management factor, soil erosion.

PENDAHULUAN

Model ANSWERS (Areal Non point Source Watershed Environment Response Simulation) merupakan model prediksi erosi berdasar proses dengan pendekatan parameter terdistribusi berbasis kejadian hujan. Model tersebut dikembangkan berlandaskan model USLE yang dikombinasikan dengan model transportasi sedimen (Beasley dan Huggins, 1981). Aplikasi model ini di Black Creek Project menunjukkan bahwa model tersebut memberikan hasil prediksi yang cukup baik dan dapat digunakan sebagai alat bantu perencanaan dan evaluasi teknik konservasi tanah dan air yang diterapkan dalam suatu DAS (Besaley, Huggins, 1981; Bouraoui dan Dillaha, 1996). Uji coba model ANSWERS di Indonesia telah dilakukan oleh Tikno (1996), Ginting dan Ilyas (1997), Ramadhan (1998), dan Hidayat (2001).

Penggunaan model ANSWERS di wilayah tropika basah seperti di Indonesia dihadapkan pada kendala nilai parameter masukan model yang kurang optimal sebagai akibat perbedaan karakteristik biofisik dan pengelolaan lahan di wilayah subtropis dan tropis. Penggunaan nilai parameter faktor C (faktor tanaman dan pengelolaannya) pada sub model produksi sedimen

yang diadopsi langsung dari model USLE kontradiktif dengan filosofis model ANSWERS yang mensimulasikan erosi per-kejadian hujan (event based model). Sistem penanaman multiple cropping dan pengelolaan lahan yang sangat beragam di wilayah tropika basah juga menyebabkan relatif beragamnya nilai faktor C yang harus diidentifikasi. Oleh karena itu, penggunaan model ini harus dilakukan secara hati-hati dan penentuan nilai parameter input model yang sesuai dengan algoritma model tersebut sangat diperlukan.

Tujuan penelitian ini adalah memformulasikan nilai faktor C (faktor tanaman dan pengelolaannya) berbasis hari hujan untuk meningkatkan keakuratan model ANSWERS dalam memprediksi erosi DAS.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian lapang dilakukan di DAS Nopu Hulu, Desa Bulili Kecamatan Palolo Sulawesi Tengah, yang berlangsung mulai bulan Juli 2004-Mei 2005. Analisis sifat fisik tanah dilakukan di laboratorium Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB.

¹ Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Faperta Institut Pertanian Bogor, Jl Raya Darmaga Bogor 16680

² Departemen Meteorologi dan Geofisika, FMIPA Faperta Institut Pertanian Bogor, Jl Raya Darmaga Bogor 16680

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan plat seng, kayu, semen, kotak penampung aliran permukaan dan sedimen, tong (80 lt), selang, dan bahan-bahan lain yang digunakan untuk membuat plot erosi, peta topografi skala 1 : 50 000, peta tanah, serta bahan-bahan lain yang digunakan untuk analisa laboratorium. Peralatan yang digunakan meliputi ARR (*automatic rainfall recorder*) dan AWLR (*automatic water level recorder*) yang dilengkapi dengan sistem data *logger*, *guelph permeameter*, *current meter*, peralatan untuk pengukuran erosi dan pengambilan sampel sedimen, peralatan untuk analisis laboratorium, model ANSWERS, SebaTerm, ArcView 3.2, dan Surfer 8.0.

Penentuan Nilai Faktor C

Nilai faktor C harian (berbasis hari hujan) ditentukan dengan membandingkan jumlah erosi yang terjadi pada plot erosi dengan penggunaan lahan atau tanaman tertentu terhadap jumlah erosi dari plot erosi yang diolah bersih menurut lereng dan tidak ditanami. Plot erosi berukuran 5 m x 4 m dibuat pada penggunaan lahan hutan dan areal terbuka disekitar hutan. Pada lahan kebun kakao dewasa (15-20 tahun), kakao sedang (5-8 tahun), kebun vanili, jagung, kacang tanah dan lahan terbuka disekitar areal kebun kakao, dibuat plot erosi dengan ukuran 8 m x 2 m. Plot erosi lainnya yang berukuran lebih sempit 4 m x 2 m dibuat untuk mengakomodasikan variabilitas penutupan lahan dan kemiringan lahan pada lahan kakao muda (<3 tahun) dan lahan tumpang sari kako muda dengan tanaman jagung, ketela pohon dan pisang. Erosi dan aliran permukaan diukur secara manual pada setiap hari hujan dengan menggunakan bak penampung yang diletakan di ujung bawah plot erosi. Pada beberapa plot, erosi dan aliran permukaan diukur secara kontinyu dengan menggunakan *tipping bucket* dan data *logger*.

Pengukuran Erosi DAS

Erosi yang keluar dari outlet DAS ditentukan melalui pengukura debit aliran permukaan yang keluar dari outlet DAS dan pengambilan sampel sedimen. Debit aliran permukaan yang keluar dari *outlet* DAS ditentukan melalui pengukuran tinggi aliran permukaan di *outlet* DAS dengan menggunakan *automatic water level recorder* (AWLR) dan pengukuran kecepatan aliran dengan menggunakan *current meter*. Pengambilan sampel

sedimen (bahan tersuspensi) pada berbagai tinggi muka air pada *outlet* DAS dilakukan secara manual dengan menggunakan botol berukuran 1,5 liter. Debit aliran permukaan dan debit sedimen selanjutnya dihitung dengan menggunakan kurva lengkung debit aliran permukaan (*discharge rating curve*) dan lengkung debit sedimen (*sediment rating curve*) yang ditentukan selama kegiatan penelitian berlangsung.

Parameter Input Model ANSWERS

Nilai parameter masukan model (karakteristik tanah, vegetasi, permukaan lahan, dan hidrologi) diperoleh melalui pengukuran dan pengamatan lapang, analisis laboratorium serta data sekunder dan nilai-nilai yang tersedia pada manual ANSWERS. Parameter masukan model tersebut meliputi: porositas total, kadar air kapasitas lapang, kadar air tanah awal sebelum kejadian hujan (AMC), kapasitas infiltrasi konstan, selisih kapasitas infiltrasi maksimum dan kapasitas infiltrasi konstan, eksponen infiltrasi, kedalaman zona kontrol infiltrasi, erodibilitas tanah, volume intersepsi potensial, persen penutupan lahan, koefisien kekasaran permukaan, tinggi kekasaran maksimum, koefisien manning untuk aliran permukaan, faktor pengelolaan tanaman dan tindakan konservasi tanah, kemiringan lereng, arah lereng, serta jaringan dan dimensi sungai/saluran. Model Answers dijalankan dengan menggunakan raster sel 50 m x 50 m.

Validasi Model

Uji Korelasi. Keeratan antara data hasil prediksi model dengan data hasil pengukuran dianalisis melalui regresi linier sederhana dengan menggunakan program Microsoft Excel. Koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk menunjukkan keeratan antara data hasil prediksi model dan data hasil pengukuran.

Efisiensi Model. Efisiensi model dianalisis dengan menggunakan persamaan Nash-Sutcliffe (1973, dalam Byne, 2000):

$$E_M = 1 - \frac{\sum (Y_t - P_t)^2}{\sum Y_t - Y_{ave-t})^2}$$

- E_M : efisiensi model
 Y_t : data hasil pengukuran pada kejadian t
 P_t : data hasil prediksi pada kejadian t
 Y_{ave-t} : Rata-rata hasil pengukuran

Persen Kesalahan. Persen kesalahan model dihitung per kejadian hujan dengan membandingkan selisih hasil prediksi model dan hasil pengamatan terhadap hasil pengamatan :

$$\text{Persen kesalahan} = \left(\frac{\text{pred} - \text{obs}}{\text{obs}} \right) * 100$$

pred : nilai hasil prediksi model per kejadian hujan
obs : nilai hasil pengukuran per kejadian hujan

Nilai positif menunjukkan hasil prediksi model lebih besar dibandingkan dengan hasil pengukuran dan nilai negatif menunjukkan hasil prediksi model lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengukuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor C Harian

Pada tanaman jagung dan kacang tanah, nilai faktor C harian bervariasi sejalan dengan variasi curah hujan, penutupan tajuk tanaman (*canopy*) dan penutupan permukaan tanah oleh serasah dan gulma (*basal cover*). Nilai faktor C relatif lebih tinggi (0,83) pada awal penanaman dimana penutupan 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 penutupan tajuk tanaman dan penutupan permukaan tanah oleh serasah tanaman dan gulma, dan meningkat kembali sebagai akibat terjadinya penurunan penutupan tajuk tanaman dan panen. Sebaliknya pada tanaman tahunan seperti tanaman kakao dan hutan, penutupan tajuk tanaman dan penutupan permukaan tanah oleh serasah dan tanaman rendah lainnya relatif stabil sehingga

variasi nilai faktor C lebih disebabkan karena variasi curah hujan (Gambar 1).

Faktor C USLE

Nilai faktor C model USLE dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan perbandingan jumlah erosi yang terjadi dari suatu lahan dengan pengelolaan tertentu terhadap jumlah erosi dari lahan yang identik dimana tanahnya diolah bersih menurut lereng dan dibiarkan (tidak ditanami) 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). Untuk tanaman semusim, fase pertumbuhan tanaman yang dipertimbangkan: Fase SB: fase pengolahan tanah untuk persiapan penanaman bibit sampai tanaman berkembang mencapai 10% penutupan tajuk.

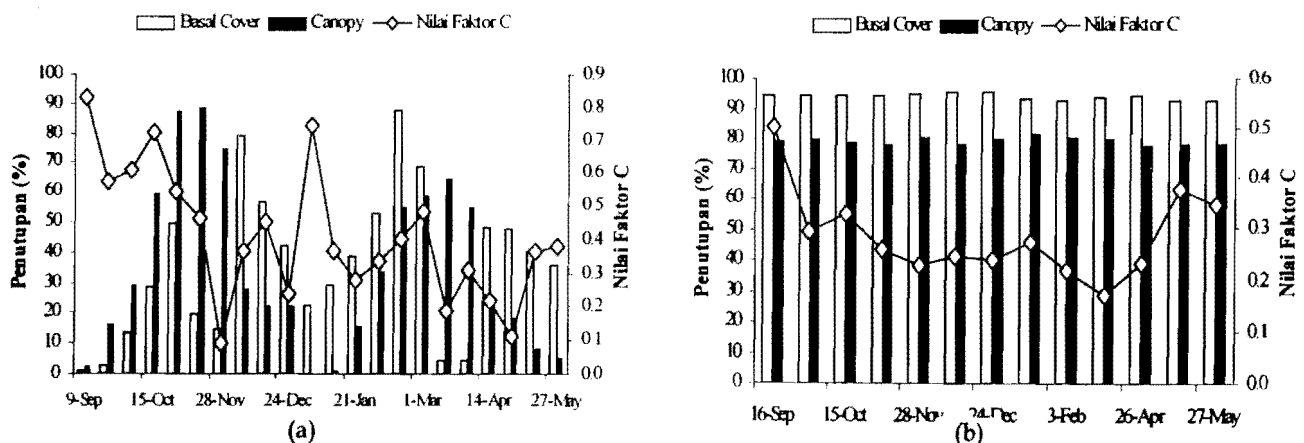
Fase I: akhir fase SB sampai perkembangan tajuk tanaman menutupi 50% permukaan lahan.

Fase II: akhir fase I sampai perkembangan tajuk tanaman menutupi 75% permukaan lahan.

Fase III: akhir fase II sampai tanaman dipanen

Fase IV: setelah tanaman dipanen sampai pengolahan tanah berikutnya.

Penutupan tajuk tanaman tahunan seperti tanaman coklat, tanaman hutan, dan semak belukar relatif stabil dari waktu ke waktu, sehingga variasi penutupan tajuk yang terjadi relatif kecil. Pada tanaman coklat variasi penutupan tajuk lebih disebabkan karena ada kegiatan pemangkasan tunas-tunas air dan cabang pohon lainnya (*pruning*) untuk mempertahankan penyinaran matahari dan



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

Tabel 1. Nilai faktor C model USLE dan nilai faktor C harian berbagai penggunaan lahan.

Penggunaan lahan	Nilai Faktor C USLE	Nilai Faktor C Harian	
		Kisaran Nilai	Rata-rata
Coklat Dewasa	0,37	0,057 – 0,868	0,29
Coklat Sedang	0,31	0,086 – 0,762	0,28
Coklat Muda	0,34	0,030 – 0,794	0,31
Coklat Muda + Jagung	0,35	0,079 – 0,913	0,34
Coklat 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

meningkatkan produksi tanaman. Oleh karena itu, nilai faktor C untuk tanaman tersebut ditentukan dengan mempertimbangkan rasio erosi dan energi kinetik hujan bulanan. Nilai faktor C model USLE merupakan nilai tunggal untuk masing-masing penggunaan lahan yang berbeda dengan nilai faktor C harian yang nilainya bervariasi (Tabel 1).

Nilai Faktor C untuk Model ANSWERS

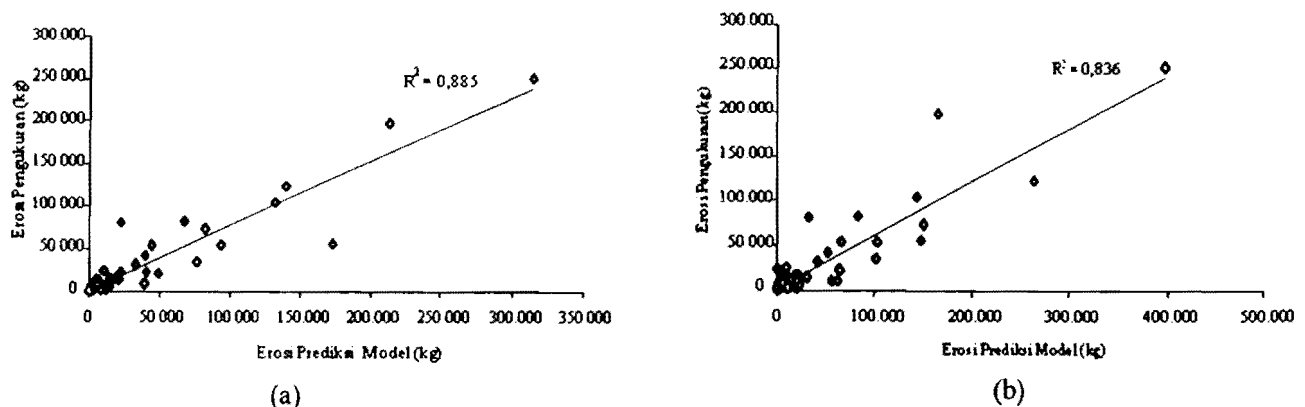
Nilai faktor C merupakan parameter masukan model yang berkorelasi erat dengan jumlah erosi hasil prediksi model ANSWERS (Hidayat, 2001). Bervariasinya nilai faktor C harian (Tabel 1) secara implisit menunjukkan bervariasinya jumlah erosi hasil prediksi model pada setiap kejadian hujan.

Model ANSWERS dengan parameter input faktor C harian memberikan hasil prediksi erosi yang lebih baik dibandingkan dengan hasil prediksi model jika model tersebut menggunakan parameter

input 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 model ANSWERS dalam memprediksi erosi juga dicerminkan oleh nilai efisiensi model sebesar 0,86 dan persen kesalahan rata-rata sebesar 24,1% (Tabel 2). 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 dengan bias yang relatif kecil, walaupun hasil prediksi model tersebut masih lebih tinggi dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan rata-rata kesalahan sebesar 24,1%.

Walaupun mempunyai koefisien determinasi yang cukup tinggi (0,84), model ANSWERS dengan parameter input faktor C USLE memberikan hasil prediksi erosi yang kurang



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

Tabel 2. Rata-rata persen kesalahan model ANSWERS dalam memprediksi erosi DAS pada beberapa kejadian hujan.

Curah Hujan (mm)	Erosi Prediksi ANSWERS (kg)		Erosi Pengukuran (kg)	Persen Kesalahan	
	C Harian	C USLE		C Harian	C USLE
6,8	657	473	516	27,4	-8,3
25,2	15,010	11,078	15,883	-5,5	-30,3
38,5	19,404	23,494	15,522	25,0	51,4
41,5	44,086	66,915	53,334	-17,3	25,5
48,1	132,281	143,758	103,300	28,1	39,2
56,7	93,973	103,265	52,980	77,4	94,9
87,6	140,204	264,840	122,289	14,6	116,6
93,8	314,683	398,357	250,446	25,6	59,1
Rata-rata dari seluruh kejadian hujan				24,1	63,6

memuaskan. Nilai efisiensi model yang relatif rendah (0,40) yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan nilai koefisien determinasinya mengindikasikan bahwa hasil prediksi model tersebut mengalami deviasi yang cukup besar. Hasil prediksi model *over estimate* dengan persen kesalahan rata-rata 63,6% (Tabel 2).

Sensitivitas Nilai Faktor C

Analisis sensitivitas nilai faktor C ditujukan untuk menilai kepekaan perubahan nilai faktor C sebagai masukan model ANSWERS terhadap perubahan jumlah erosi hasil prediksi model.

Perubahan nilai faktor C dilakukan dengan meningkatkan nilai faktor C sebesar 5%, 10%, 15% dan 20%, serta menurunkannya sebesar -5%, -10 %, -15%, dan -20% dari nilai aktual faktor C pada suatu kejadian hujan tertentu. Karena jumlah erosi yang dihasilkan dipengaruhi oleh jumlah dan intensitas hujan, maka analisis sensitivitas tersebut dilakukan pada curah hujan sebesar 19,3 mm (12 Desember 2004), 48,2 mm (1 April 2005), 68,8 mm (6 Januari 2005) dan 93,8 mm (10 Mei 2005).

Peningkatan dan penurunan nilai faktor C berkorelasi secara linier terhadap jumlah erosi hasil prediksi model ANSWERS. Penurunan nilai faktor

Tabel 3. Simulasi perubahan nilai faktor C dan jumlah erosi hasil prediksi model ANSWER pada beberapa kejadian hujan.

Simulasi Faktor C	CH: 19,3 mm			CH: 48,2 mm			CH: 68,8 mm			CH: 93,8 mm			Rataan* (%)
	E _p (ton)	Perubahan E _p (ton)	(%)	E _p (ton)	Perubahan E _p (ton)	(%)	E _p (ton)	Perubahan E _p (ton)	(%)	E _p (ton)	Perubahan E _p (ton)	(%)	
Aktual	15,17			132,28			67,95			314,68			
- 5%	14,53	-0,64	-4,2	124,85	-7,43	-5,6	65,43	-2,52	-3,7	298,73	-15,95	-5,1	-4,7
- 10%	13,86	-1,31	-8,6	120,61	-11,67	-8,8	61,38	-6,57	-9,7	282,07	-32,61	-10,4	-9,4
-15%	12,66	-2,51	-16,6	113,03	-19,25	-14,6	58,02	-9,93	-14,6	265,65	-49,04	-15,6	-15,3
-20%	12,05	-3,12	-20,6	105,32	-26,96	-20,4	55,50	-12,45	-18,3	249,61	-65,07	-20,7	-20,0
+5%	15,81	0,65	4,3	139,77	7,48	5,7	71,37	3,42	5,0	330,57	15,89	5,0	5,0
+10%	16,49	1,32	8,7	144,10	11,82	8,9	75,75	7,80	11,5	347,03	32,35	10,3	9,9
+15%	17,69	2,52	16,6	151,50	19,22	14,5	78,70	10,75	15,8	347,03	32,35	10,3	14,3
+20%	18,29	3,12	20,6	159,16	26,88	20,3	81,20	13,25	19,5	347,03	32,35	10,3	20,2

Keterangan: E_p : jumlah erosi hasil prediksi model ANSWERS
 Perubahan E_p : perubahan jumlah erosi pada berbagai simulasi faktor C terhadap kondisi aktual
 Rataan* : rata-rata perubahan erosi

C sebesar -5%, 10%, 15% dan 20% mengakibatkan penurunan jumlah erosi prediksi model masing-masing sebesar -4,7%, -9,4%, -15,3%, dan -20,0%. Demikian juga peningkatan nilai faktor sebesar 5%, 10%, 15% dan 20% diikuti oleh peningkatan jumlah erosi hasil prediksi model masing-masing sebesar 5,0%, 9,9%, 14,3% dan 20,2% (Tabel 3).

Tabel 3 menunjukkan bahwa faktor C (faktor tanaman dan pengelolannya) merupakan parameter input model ANSWERS yang berkorelasi linier dengan jumlah erosi hasil prediksi model. Oleh karena itu penentuan nilai tersebut harus dilakukan secara hati-hati karena perubahan nilai parameter tersebut secara peka akan diikuti oleh perubahan output model.

KESIMPULAN

Faktor tanaman dan pengelolannya (faktor C) harian merupakan parameter input pengelolaan tanaman yang lebih sesuai sebagai parameter input model ANSWERS dibandingkan dengan faktor C yang ditentukan dengan metoda USLE.

Model ANSWERS dengan parameter input faktor C harian memberikan prediksi erosi yang lebih akurat seperti ditunjukkan oleh koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,89, efisiensi model sebesar 0,86 dan rata-rata persen kesalahan model sebesar 24,1 %.

Model ANSWERS dengan parameter input faktor C USLE memberikan prediksi erosi jauh lebih tinggi (*over estimate*) dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan rata-rata persen kesalahan model 63,6%. Model memberikan hasil prediksi yang kurang akurat seperti ditunjukkan oleh efisiensi model sebesar 0,40 yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,84.

Faktor C merupakan parameter input model yang bersifat peka (sensitif) dalam mempengaruhi jumlah erosi hasil prediksi model ANSWERS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Direktorat Pembinaan 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 fasilitas peralatan lapang yang

diperlukan dalam penelitian ini, dan kepada semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian dan penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 2000. Konservasi Tanah dan Air. IPB Press. Bogor.
- Beasley, D. B. and L. F. Huggins. 1981. ANSWERS, User's Manual. Agricultural Engineering Department, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Bouraoui, F. and T. A. Dillaha. 1996. ANSWERS 2000 : Runoff and Sediment Transport Model. Journal of Environmental Engineering, ASCE p. 493 – 502.
- Byne, W. 2000. Predicting Sediment and Channel Scour in the Process-Based Planning Model ANSWERS-2000. MSc Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia.
- Ginting, A.N. dan M. A. Ilyas. 1997. Pendugaan Erosi pada Sub DAS Siulak di Kabupaten Kerinci dengan Menggunakan Model ANSWERS. Makalah Lokakarya Penetapan Model Erosi Tanah. Puslitbang Hutan dan Konservasi Alam, Bogor. 7 Maret 1997.
- Hidayat, Y. 2001. Aplikasi Model ANSWERS dalam Mempredikasi Erosi dan Aliran Permukaan di DTA Bodong Jaya dan DAS Way Besay Hulu, Lampung Barat. Tesis Magister. Program Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Ramadhan, H. 1998. Penggunaan Model ANSWERS untuk Mempredikasi Aliran Permukaan dan Sedimen di DAS Cikutumuk, Jawa Barat. Tesis Magister. Program Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Ricardo, B. 1998. ANSWERS 2000 First Report. Dalam: www.dillaha.bse.vt.edu/answers/index.html. 20 Oktober 2003.
- Tikno, S. 1996. Penggunaan Model ANSWERS untuk Mempredikasi Aliran Permukaan dan Sedimen di Sub DAS Cibarengkok-Cimuntur, Jawa Barat. Tesis Magister. Program Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Wischmeier, W. H. and D.D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning Agricultural Handbook No. 573. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture in Cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station.
- Wischmeier, W. H. and D.D. Smith. 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.

