Forum Pascasarjana (1993) 16 (1) : 23 - 32.

PREDIKSI ALIRAN PERMUKAAN, HASIL SEDIMEN DAN KUALITASNYA DENGAN MODEL ANSWERS PADA AREAL WADUK BATUJAI, NTB*)

(Prediction of runoff, sediment yield and their quality using ANSWERS model at Batujai reservoir area, West Nusa Tenggara)

Oleh:

Gatot Irianto, Hidayat Pawitan, Soedarsono, dan H. Soewardjo**)

ABSTRACT

The possibility of ANSWERS model application for predicting runoff and sediment yield is discussed in this paper. Three types of rainfall duration (e.i. 6; 8 and 10 hours) with three amount of total rainfall of 100; 200 and 300 mm and two different systems consisting of four kinds of land use were used for simulating runoff and sediment yield. The result showed that the runoff initiation was identified at 189 minutes from the start of rainfall when the amount of rainfall total was 200 mm with 8 hour duration (about 0.0001 inch/hour). The initial sediment yield was shown to be about 0.45 kg at 188 minutes from the begining of rainfall when rainfall total was 300 mm with 6 hour duration. Actual runoff and maximum sediment yield were recorded about 0.0017 inch/hour and 12.000 kg respectively. The land use which were considered as potential for erosion protection were mixed garden and wet rice. The considered land use would reduce runoff and sediment yield about 50% than traditional land use. The type of output indicates that ANSWERS model is promising for predicting runoff and sediment yield.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Untuk mengatasi kendala air di Pulau Lombok (curah hujan ± 1500 mm/th selama 2-2,5 bulan) pemerintah menganjurkan untuk menerapkan sistem gogo rancah, membangun embung-embung dan Waduk Batujai. Pembangunan Waduk Batujai selesai pada tahun 1982 dan setelah itu masalah air sudah teratasi.

---

*) Sebagian tesis S_2 Program Studi Agroklimat, Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Penelitian dibiayai ARMP Badan Litbang Pertanian.

**) Berturut-turut Staf Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor dan Komisi Pembimbing di Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

Tetapi masih perlu dipikirkan pengelolaan sedimen dan aliran permukaannya, meskipun daerah aliran-waduk sebagian besar berupa sawah dengan teras yang baik, lereng dominan 0-3%.

Tahap pertama adalah mengetahui besarnya hasil sedimen dan aliran permukaan yang dapat dikerjakan melalui pengukuran langsung atau prediksi. Masing-masing cara mempunyai kelebihan dan kekurangan, misalnya metode pengukuran langsung perlu biaya besar, tenaga terampil, memerlukan waktu lama serta sulit untuk dilakukan pada areal yang luas, meskipun hasilnya mendekati kenyataan. Sedangkan metode prediksi lebih cepat diketahui hasilnya, tetapi memerlukan koreksi yang cermat.

Abdurachman dan Sukmana (1990); Gnagey (1990) menyarankan untuk menggunakan model prediksi, dengan pertimbangan karena kebutuhan output yang mendesak, dalam keadaan keterbatasan waktu, tenaga dan dana.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat kemungkinan memprediksi hasil sedimen, aliran permukaan dan kualitasnya dengan model ANSWERS di Waduk Batujai, Nusa Tenggara Barat (NTB). Model ini dipilih karena dapat menampilkan karakteristik individu elemen dalam daerah tangkapan (Beasley dan Huggins, 1981; Wilcox et al., 1990).

Prediksi sedimen di Indonesia menurut Coster dimulai tahun 1910-an dengan menduga "sediment yield" DAS Cilutung Jawa Barat '(dalam Suwardjo, 1981). Pengukuran erosi mulai mendapat perhatian serius dari Lembaga Penelitian Tanah kira-kira sejak tahun 1970-an dimana serangkaian percobaan sistem petak kecil di Jawa dan luar Jawa mulai dilaksanakan. Persamaan yang digunakan adalah USLE (Universal Soil Loss Equation) untuk mengidentifikasi faktor penyebab erosi. Hasil yang diperoleh diantaranya adalah mendapatkan nilai C dan P (faktor pengelolaan tanah dan tanaman) (Abdurachman et al., 1984), teknik pencegahan erosi serta pemulihan lahan kritis (Suwardjo, 1981).

Setelah itu mulai dikembangkan prediksi dan pencegahan erosi pada skala yang lebih luas yaitu daerah tampung mini. Namun kegiatan ini kurang berkembang karena memerlukan biaya yang lebih besar dan penanganan lebih cermat.

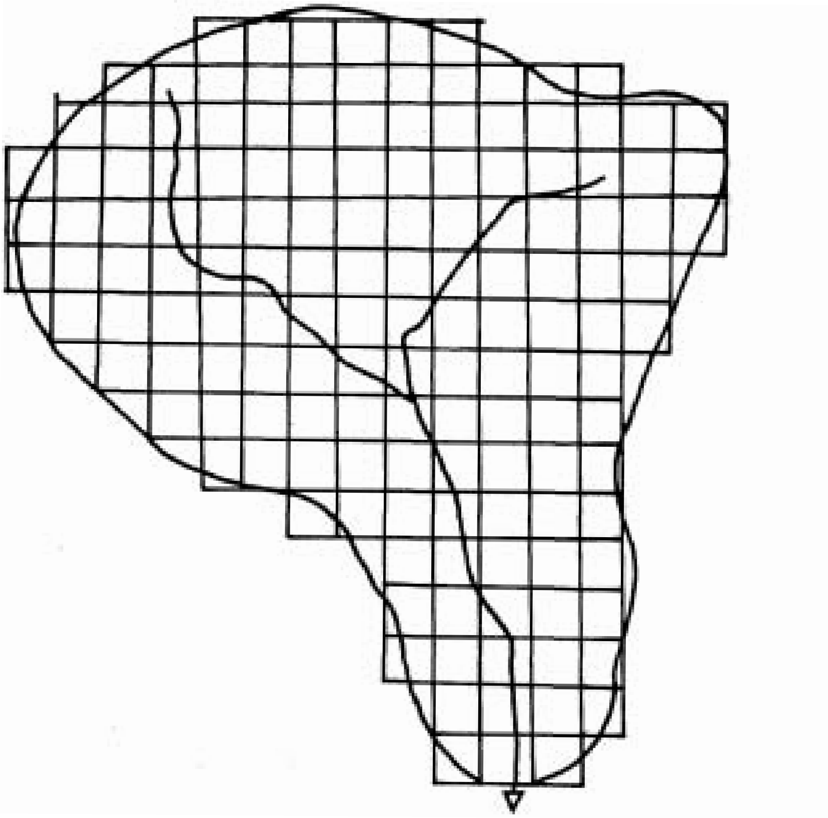
Tantangan baru muncul ketika Departemen Kehutanan menghendaki prediksi erosi untuk 22 sub DAS super prioritas. Hasilnya akan digunakan sebagai acuan dalam menyusun pola Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (RLKT) (Departemen Kehutanan, 1986). Saat itu disepakati untuk menerapkan teknik prediksi dengan peta Tingkat Bahaya Erosi (TBE).

Setelah digunakan lebih luas, peta TBE berdasarkan persamaan USLE (Wishmeier dan Smith, 1978) banyak mengalami kendala. Diantaranya adalah bahwa penetapan nilai L, S, C dan P terlalu besar (over estimate), sehingga rekomendasi pengelolaan yang disarankan selalu dihutankan. Kendala lainnya adalah bahwa USLE tidak dapat menduga aliran permukaan, sehingga proses hidrologi tidak terakomodasikan dengan baik dalam USLE ini.

METODOLOGI

Penelitian dilaksanakan di daerah aliran Waduk Batujai dari bulan Januari-April 1992, diteruskan dengan analisis tanah dan air di laboratorium Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor serta komputasi sampai bulan September 1992.

Untuk menduga hasil sedimentasi rata-rata, maksimum, sumbangan sedimen tiap elemen serta hubungan antara total curah hujan, lama hujan terhadap hasil sedimen dan aliran permukaan digunakan model ANSWERS (Areal Non-point Source Watershed Environment Resource Simulation). Model ANSWERS menampilkan karakteristik faktor penyebab erosi seperti tanah, lereng, penggunaan lahan, hujan dan pengelolaannya secara lebih rinci. Satuan pengamatannya adalah elemen yaitu areal yang dianggap mempunyai parameter hidrologi dan erosi sama (Gambar 1). Ukurannya ditetapkan adalah 2 x 2 cm pada peta rupabumi skala 1 : 25.000.



Gambar 1. DAS yang Dibagi Menjadi Elemen.
Figure 1. Watershed Devided info Elements.

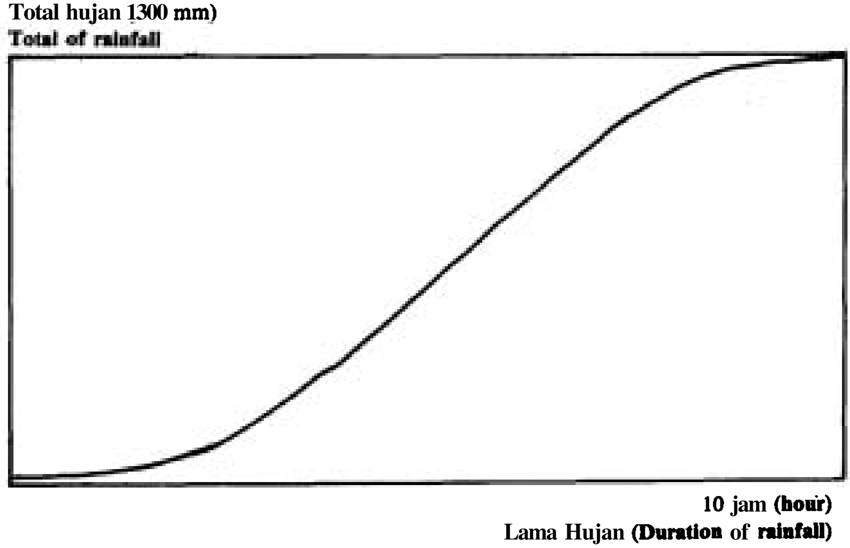
Model ANSWERS menghubungkan antara elemen dalam satu DAS/sub DAS dan menampilkan dengan baik, termasuk mempertimbangkan adanya saluran yang pada model USLE belum ada. Aplikasi model ini di Indonesia baru pertama kali dilakukan di Waduk Batujai, sehingga hasilnya belum tersedia.

Untuk mengoperasikan model ANSWERS diperlukan dua kelompok data yaitu: (1) Predata yang meliputi: data hujan (total dan lama hujan), tanah (porositas total, kapasitas lapangan, laju infiltrasi pada steady state dan maksimum, persen kejenuhan dan erodibilitas tanah), penggunaan lahan (jenis dan pengelolaannya, volume intersepsi, persen penutupan, koefisien kekasapan, tinggi kekasapan, indeks manning's serta faktor pengelolaan tanaman), karakteristik saluran (lebar dan koefisien kekasapan); (2) Informasi individu elemen yang mencakup: kemiringan dan arah lereng, jenis tanah dan penggunaan lahan, liputan penangkar hujan, kemiringan saluran, "Best Management Practices" (BMP), second BMP serta ketinggian rata-rata elemen.

Untuk menetapkan kualitas air, maka diambil contoh air dari Sungai Tiwuampan, embung Bubuk, saat pengolahan, saat tanam, embung Monggas, embung Muncan dan waduk Batujai. Sedangkan penilaian kualitasnya diklasifikasikan berdasarkan kriteria Menon (1973).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk melihat pengaruh sifat hujan (total dan lama hujan), maka perlu diamati karakteristiknya. Berdasarkan data yang ada, pola hujan di lokasi studi menurut Hjelmfelt (1983) seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan antara lama hujan (T) dan total hujan (I)
Figure 2. Relationship between duration (T) and total of rainfall (I)

Sejalan dengan **pola** di **atas,** maka total hujan yang disimulasikan dipilih adalah **100; 200** dan **300** mm, sedangkan lama hujannya adalah: **6;** 8 dan **10** jam. Pengaruh sifat **tanaman** juga diuji pada dua sistem yang **berbeda** dengan penetapan koefisien didasarkan pada hasil penelitian **Beasley** dan **Huggins (1981)** seperti pada **Tabel 1.**

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, maka **pembahasan** hasil penelitian akan ditekankan pada:

1. Pengaruh lama dan total hujan terhadap hasil sedimen dan aliran permukaan pada outlet.
2. Pengaruh lereng, penggunaan lahan, sifat **tanah** terhadap hasil sedimen pada individu **elemen** dengan dua karakteristik **tanaman.**
3. Penilaian kualitas air untuk keperluan irigasi.

Tabel 1. Karakteristik penggunaan lahan yang disimulasikan.
Table 1. Simulated land use characteristic.

Penggunaan lahan	tipe A PIT	PER	RC	RH	N	tipe B PIT	PER	RC	RH	N
Sawah	.08	50	.31	.6	.025	.12	60	.36	.7	.030
Jagung	.04	20	.30	.8	.010	.08	30	.35	.9	.015
Rumput	.02	30	.28	.3	.	.06	40	.33	.4	.103
K. Campuran	.50	40	.39	2.5	.100	.54	50	.44	2.6	.105

Keterangan:
PIT : Volume intersepsi potensial (Potential Interception Volume)
PER : Persen penutupan (Percentage of Surface Coverage)
RC : Koefisien kekasapan (Roughness Coefficient)
N : Koefisien Manning's (Manning's Coefficient)
RH : Tinggi kekasapan (Roughness Height)

Pengaruh lama dan total hujan terhadap hasil sedimen dan aliran permukaan pada outlet

Dari serangkaian komputasi yang di lakukan ternyata yang menyebabkan **sedimentasi dan** aliran permukaan terbesar adalah total hujan **300** mm dan lama hujan **6** jam seperti pada **Tabel** 2.

Pada total hujan 300 mm **pengaruh** lama hujan terhadap hasil sedimen **maupun** aliran permukaan terlihat jelas. Perbedaan **dari** ketiga lama hujan terletak pada **saat** terjadinya **sedimen** dan aliran permukaan **serta nilai** maksimumnya. Adanya peningkatan total hujan menjadi 300 **mm,** akan meningkatkan hasil sedimen dan aliran permukaan, terutama pada lama hujan 6 jam.

Tabel 2. Pengaruh lama hujan pada total hujan 300 mm terhadap hasil sedimen dan aliran permukaan pada outlet.
Table 2. Effect of duration of rainfall at the rainfall total of 300 mm on runoff and sediment yield at the outlet.

Waktu / Time (Minute)	Lama Hujan (jam)/Duration of rainfall (hour): 6 — Hujan / Rain fall (in/jam / inch/hour)	6 — Aliran Permukaan / Runoff (in/jam / inch/hour)	6 — Hasil Sedimen / Sediment yield (kg)	8 — Hujan / Rain fall (in/jam / inch/hour)	8 — Aliran Permukaan / Ruff (in/jam / inch/hour)	8 — Hasil Sedimen / Sediment yield (kg)	10 — Hujan / Rain fall (in/jam / inch/hour)	10 — Aliran Permukaan / Runoff (in/jam / inch/hour)	10 — Hasil Sedimen / Sediment yield (kg)
0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.0000	0.00
30.0	0.22			0.11			0.11		
60.0	0.14			0.11			0.13		
120.0	0.96			0.13			0.13		
126.0	2.04	0.0000	0.45						
147.0	2.04	0.0001	17.60						
184.0	3.97			2.52		0.45			
200.0		0.0012		2.52	0.0001	15.40			
210.0	3.97		851.20	2.52	0.0001	38.10	0.73		
216.0							2.16	0.0000	0.45
234.0							2.16	0.0001	15.80
238.0	1.42	0.0017**	2233.00						
240.0				1.96	0.0003	249.80	2.16	0.0001	35.80
273.0	0.36	0.0017**	4381.70	2.16	0.0005	664.80	1.08	0.0001	118.30
330.0	0.24	0.0012	7902.20	1.44	0.0012**	2117.60	1.44	0.0006	854.40
360.0	0.12			0.12	0.0011	3446.10	1.44	0.0008**	1431.20
387.0							0.48	0.0008**	2124.60
390.0	0.00	0.0006	10407.00	0.12	0.0008	4649.20			
592				0.00	0.0000	7039.20			
594							0.12	0.0000	4565.90
651	0.00	0.0000	11999.10						
658	0,00	0.0000	12000*						
696				0.00	0.0000	7219.70			
711							0.00	0.0000	4809.80
720							0.00	O . m	4812.1*

Keterangan: * Hasil Sedimen Maksimum (Maximum sediment yield).
** Aliran Permukaan Maksimum (Maximum runoff).

Hasil sedimen dan aliran permukaan mulai terjadi masing-masing pada 126 dan 147 **menit** sesudah terjadi hujan untuk lama hujan 6 jam. Sedangkan pada 8 dan 10 jam hasil sedimen terjadi 184 dan 216 **menit** sesudah terjadi hujan **serta** aliran permukaan pada **200** dan 234 **menit** sesudah terjadi hujan. **Terjadinya puncak** aliran permukaan dan hasil sedimen **pada** ketiga **peristiwa** hujan juga **sangat berbeda** yaitu **berturut-turut** 147, **200** dan 234 **menit** sesudah terjadi **hujan**. Adapun besarnya masing-masing: 0,0017; 0,0012 **dan 0,0008 in/jam.** Jika **dihitung nisbah** aliran permukaan terhadap **curah** hujan **sebesar:** 0,001 1; 0,00083 dan **0,00055** besarnya **aliran permukaan** tergolong rendah. Berarti **daya** simpan air DAS masih **baik.**

Pengaruh total hujan 300 mm, lama hujan 6 jam terhadap hasil sedimen tiap individu **elemen** disajikan pada Gambar **Lampiran** 1. Puncak hasil **sedimen** maksimumnya terjadi pada **menit** ke 658 sejak **mulai** hujan untuk lama hujan 6 jam, 6% untuk 8 jam dan 720 untuk 10 jam. **Besarnya** hasil sedimen **maksimum** masing-masing yaitu: **12000; 7219,7** dan **4812,1** Kg. Jumlah ini cukup besar karena terjadi pada waktu yang singkat saja yaitu menit-menit terakhir terjadinya run off.

Bagi pelaksana **lapangan** perlu waspada jika hujan telah mencapai **300** mm dengan lama hujan 6 jam atau lebih, **berarti peluang** terjadinya **banjir** lebih besar.

Pengaruh lereng, penggunaan lahan dan jenis tanah terhadap erosi

Pengaruh lereng, penggunaan lahan dan jenis **tanah** terhadap hasil sedimen dapat ditetapkan dengan mengasumsikan dua faktor lainnya sebagai peubah **tetap**.

Lereng

Untuk membahas pengaruh lereng, maka perlu diamati sebaran **klas** lereng. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa: lereng **0** - 3% menempati areal **6.010,90** ha **(63,66%)**, 3 **sampai** 8% seluas **2.889,35 (30,60%)**, 8 - 15% seluas **464,36** ha **(4,92%)**, 15 - 25% seluas **77,39** ha **(0,82%)**.

Untuk melihat lebih jauh pengaruh lereng terhadap hasil sedimen, maka di bawah **ini** disajikan data pengaruh **kemiringan** lahan terhadap hasil sedimen pada individu **elemen (Tabel** 3).

Tabel 3. Pengaruh kemiringan lahan tipe vertisol solum dalam yang digunakan untuk sawah pada hasil sedimen.
Table 3. The effect of slope of deep solumn vertisol utilized for sawah on the sediment yield.

Nomor Elemen / Number of Element	Lereng / Slope	Hasil Sedimen Karakteristik Tanaman / Sediment Yield: A kg/ha	B kg/ha
307	1,0	0.072	0,025
317	1,0	0.084	0.034
211	4,0	0.132	0.064
222	4,0	0.133	0.065
179	9,0	0.154	0.074
248	9,0	0.158	0.074

Terlihat bahwa dengan terasering hasil sedimen pada lcreng 1%, 4% dan **9% sekitar** 0.1 **Kg/ha/kejadian** hujan. Penurunan **erosi** pada lereng **terjal** yang **diteras sejalan** dengan formula Baver et *al.* (1976) yaitu $X_C = C.\ S^{1,4}.\ L^{1,6}$

(dimana X_C = tanah terangkut dalam ton/acre; L = panjang lereng dalam ft; S = kemiringan tanah dan C merupakan konstanta yang tergantung sifat tanah dan hujan), maka penterasan akan menekan erosi sebesar $S^{1.4}$. $L^{1.4}$.

Tanah

Sebaran jenis tanah di lokasi studi menurut peta tanah tinjau dan pengecekan lapangan adalah sebagai berikut: Entisol dangkal seluas 644,94 ha (6,84%), Inceptisol solum dalam seluas 541,75 ha (5,74%), Entisol solum sedang seluas 541,75 ha (5,74%), Vertisol solum dalam seluas 670,74 ha (7,1%), Vertisol solum dangkal seluas 3685,11 ha (39,13), Inceptisol solum dangkal seluas 2063,82 ha (21,80) serta Vertisol solum sedang menempati 1289,89 ha (13,66).

Untuk melihat pengaruh jenis tanah terhadap hasil sedimen akan diamati beberapa elemen dengan lereng dan penggunaan lahan sama seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh jenis tanah dengan kemiringan 2% yang digunakan sebagai sawah pada hasil sedimen.
Table 4. The effect of soil type sloping at 2% and utilized as sawah on the sediment yield.

No Elemen / Number of Element	Jenis Tanah / Types of soil	Hasil Sedimen Karakteristik Tanaman / Sediment Yield Crops Characteristic A kg/ha	B kg/ha
33	Vertisol, dangkal	0.601	0.590
34	Vertisol, dangkal	0.626	0.618
73	Vertisol, dangkal	0.620	0.612
74	Vertisol, dangkal	0.600	0.589
173	Inceptisol, dangkal	0.202	0.090
290	Inceptisol, dangkal	0.220	0.144

Terlihat bahwa hasil sedimen di bagian hulu untuk Vertisol bersolum dangkal berkisar 0.601 kg/ha sedangkan Inceptisol berkisar 0.202. Penyebabnya diduga struktur tanah Inceptisol sudah berkembang sehingga tahan terhadap pukulan butir hujan. Sedangkan Vertisol strukturnya masif/pejal sehingga cenderung rendah infiltrasinya. Pola ini ternyata juga berlaku pada dua karakteristik tanaman (yang rapat maupun jarang).

Hasil sedimen pada Vertisol dan Inceptisol hilir sangat kecil disebabkan aliran permukaan dari atas tertampung oleh sawah (elemen diatasnya), sehingga hasil sedimennya lebih rendah.

Penggunaan Lahan

Data jenis dan sebaran penggunaan lahan berdasarkan hasil interpretasi peta rupabumi dan pengecekan lapangan adalah sebagai berikut: sawah seluas

6552,4 ha (69,40%), jagung seluas 490,16 ha (5,19%), rumput 851,33 ha (9,02%) dan kebun carnpuran 1547,87 ha (16,39%).

Pengaruh penggunaan lahan terhadap hasil sedimen pada individu elemen disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengaruh jenis penggunaan lahan pada tanah inseptisol dangkal dengan kemiringan lereng 7% pada hasil sedimen.
Tabk 5. The effect of land use types of shallow inceptisol soil sloping at 7% on the sediment yield.

Nomor Elemen / Number of Element	Penggunaan Lahan / Land use	Had sedimen, Karakteristik tanaman / Sediment Yield, Crops Characteristic: A (ton/ha)	B (ton/ha)
138	jagung	1.013	1,003
139	jagung	1,026	1,013
269	rumput	0,658	0,468
166	rumput	0,777	0,539
208	K. campuran	1,170	0,793
226	K. campuran	1,173	0,795

Tingginya erosi pada lahan yang ditanami jagung dan kebun campuran diduga karena rendahnya penutupan tanah. Akibatnya butiran hujan jatuh langsung kepermukaan tanah, menjadi aliran permukaan dan menyebabkan erosi.

Kualitas Air

Data kualitas air secara terinci disajikan pada Tabel 6. Berdasarkan penilaian menurut Menon (1973), kualitas air di lokasi studi memenuhi syarat untuk air irigasi. Berarti kondisi DAS masih baik dan ada peluang untuk memanfaatkan air untuk keperluan lain seperti pariwisata.

Tabel 6. Kualitas air di lokasi studi.
Table 6. Water quality at the study area.

Sumber air / Source of water	EC / EC	pH / pH	Kation / Cation	Anion / Anion	Sedimen / Sediment
	mmho/cm		me/l	me/l	mg/l
S. Tiwuampan	0,244	6,2	2,40	2,44	55
Air Dam Bubuk	0,320	7,0	3,25	3.23	46
Air saat diolah	1,100	6,6	11,51	11,70	147.630
Air saat tanam	0,500	6,9	5,35	5.24	736
Air Dam Monggas	0.285	6,8	2,94	2.89	67
Air Dam Muncan	0,280	6,9	2.91	2,84	47
Air Waduk Batujai	0,218	6,9	2.27	2.23	105

KESIMPULAN

1. Model ANSWERS dapat diterapkan untuk memprediksi erosi dan **aliran** permukaan, karena dapat menggambarkan kondisi **elemen tiap** satuan waktu.
2. Aliran permukaan dan erosi maksimum terjadi pada total hujan 300 mm dengan lama hujan 6 jam. Informasi **ini** dapat digunakan dalam sistem informasi peringatan dini terhadap banjir.
3. Kualitas air yang relatif **tetap dari** hulu ke **hilir** menunjukkan **bahwa** kondisi DAS dalam mengatur tata air masih baik.

S A R A N

1. Perlu tersedia **peta** topografi skala yang **besar (1:5.000** atau **1:10.000) agar** penampilan informasi **lapang** lebih **rinci.**
2. Ukuran **elemen** perlu dicari optimalnya dikaitkan dengan biaya dan tujuan kegiatan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdurachman, A., S. Abujamin dan U. Kurnia. 1984. Pengelolaan tanah dan tanaman untuk usaha konservasi tanah. Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk. No. 3: 7-12 p.

Abdurachman, A. dan S. Sukmana. 1990. Prediksi Erosi dengan Metode USLE: Beberapa Masalah dalam Penerapannya di DAS Bagian Hulu. Proyek Penelitian Penyelamatan Hutan, Tanah dan Air. Balitbang. Deptan. p. 1-14.

Baver, L.D., W.H. Gardner, and W.R. Gardner. 1976. Soil Physics. Fourth edition. Wiley Eastern Limited. New Delhi. 498 p.

Beasley, D.B., and L.F. Huggins. 1981. ANSWERS (Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation). Purdue University. Wet Lafayette, Indiana. 54 p.

Departemen Kehutanan. 1986. Petunjuk Pelaksanaan Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah. Jakarta. 87 p.

Departemen Pertanian. 1990. Kajian Penyempurnaan Informasi Sumberdaya Alam di Tingkat BPP. Publikasi Kanwil Deptan NTB. Mataram. 120 p.

Gnagey, R. 1990. Inderosi; Pemantauan Keberhasilan melalui Indikator Erosi. Proyek Penelitian Penyelamatan Hutan Tanah dan Air. Balitbang. Deptan. p. 55-70.

Hjelmfelt, A.T. 1983. Time distribution of clock hour rainfall. in CREAMS. Afield Scale Model for Chemical, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. Vol III. p. 379-385.

Menon, R.E. 1973. Soil and Water Analysis. A Laboratory Manual for the Analysis Soil and Water. Prepared for the Soil Laboratory of the FAO/UNDP. 47 p.

Suwardjo, 1981. Peranan Sisa-sisa Tanaman dalam Konservasi Tanah dan Air pada Usahatani Tanaman Semusim. Disertasi. Fakultas Pascasarjana IPB. 240 p.

Wilcox, B.P., W.J. Rawls, D. L. Brakensiek and J. R. Wright. 1990. Predicting Runoff from Rangeland Catchment: A Comparison of Two Models. Wat. Ress. Research. Vol. 22 No. 10. p. 2592-2599.

Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. USDA Handbook No. 537. 462 p.