

**PENERAPAN MODEL ANSWERS UNTUK PENDUGAAN LIMPASAN DAN
HASIL SEDIMEN PADA SUB DAS KAWASAN HUTAN PINUS DI GOMBONG,
JAWA TENGAH: STUDI PENDAHULUAN**
*(The Application of ANSWERS Model to Predict Sediment Yield and Runoff at Pine Forest
Sub Watershed in Gombong, Central Java: The Preliminary Study)**

Oleh/By :

Agung B. Supangat¹⁾ dan/and Sukresno²⁾

¹⁾Balai Penelitian Hutan Penghasil Serat Kuok

Jl. Raya Bangkinang – Kuok Km. 9 Bangkinang 28401, Kotak Pos 4/BKN – Riau Telp. (0762) 71000121, Fax : (0762) 71000122

²⁾Balai Penelitian Kehutanan Solo

Jl. Jend. A. Yani-Pabelan, Kartasura PO. BOX. 295 Surakarta 57102 Telp./Fax : (0271) 716709; 716959

e-mail : bp2tpdas@indo.net.id

*) Diterima : 02 April 2008; Disetujui : 05 Nopember 2008

ABSTRACT

Watershed management planning in Indonesia currently uses USLE (Universal Soil Loss Equation) as the assessment approach of critical land. The weakness of USLE model is that it can only be used to predict soil erosion. The model does not consider hydrological condition of watershed. Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation (ANSWERS) is another model which can eliminate the weakness of USLE. The main objective of the study is to test the ANSWERS model to predict sediment yield and runoff on pine forest sub watershed. This research was conducted in the year 2003 on the Watujali and Silengkong sub watersheds, Sempor District, on Perum Perhutani forest area. These sub watersheds were covered by pine forest. The t-test results showed that there were no significant differences between the direct runoff actual (Q-act) and predicted (Q-prd). However, they had considerable different values. In the Watujali sub watershed, Q-prd was 576.0 mm; Q-act was 494.5 mm; Soil erosion prediction (E-prd) was 1.21 ton/ha; and Soil erosion actual (E-act) was 2.95 ton/ha. In the Silengkong sub watershed, Q-prd was 938.4 mm; Q-act was 845.4 mm; the predicted soil erosion was 10.12 ton/ha; and actual soil erosion was 6.09 ton/ha. The result indicates that the ANSWERS model is not yet applicable for watershed management planning simulation. Before using the simulation of this model, it is suggested to add more paired data of rainfall event and stream flow. Afterwards, this model could be performed for a second time. Due to high rainfall distribution on the research area, it is necessary to add more rain gauge stations in order to increase rainfall data accuracy. Finally, this result is still a preliminary study for further implementation and simulation of the model.

Keywords: ANSWERS model, pine forest, sediment yield, direct runoff, watershed management

ABSTRAK

Perencanaan pengelolaan daerah aliran sungai (DAS) di Indonesia saat ini masih menggunakan pendekatan model USLE (*Universal Soil Loss Equation*) dalam penilaian kekritisan lahan. Kelemahan model ini adalah hanya mampu memperkirakan besaran erosi, dan kurang memperhitungkan kondisi hidrologis secara detail. Oleh karenanya, diperlukan jenis model hidrologi lain yang dapat diterapkan secara lebih tepat dan akurat untuk menutupi kelemahan model yang ada, seperti model ANSWERS (*Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*). Penelitian ini bertujuan untuk menguji model ANSWERS untuk menduga erosi dan limpasan permukaan di sub DAS kawasan hutan pinus. Penelitian dilakukan di sub DAS Watujali dan Silengkong, Kecamatan Sempor, Kabupaten Kebumen. Hasil *t-test* menunjukkan bahwa limpasan langsung aktual (*Q-act*) dan prediksi (*Q-prd*) tidak berbeda nyata, namun memiliki selisih yang cukup besar. Sub DAS Watujali menunjukkan besarnya nilai *Q-prd* 576,0 mm; *Q-act* 494,5 mm; Besarnya erosi tanah perkiraan (*E-prd*) 1,21 ton/ha; dan erosi tanah aktual (*E-act*) 2,95 ton/ha. Di sub DAS Silengkong menunjukkan besarnya *Q-prd* 938,4 mm; *Q-act* 845,4 mm; erosi tanah prediksi 10,12 ton/ha; erosi tanah aktual sebesar 6,09 ton/ha. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa model ANSWERS belum dapat memberikan informasi yang akurat dalam perencanaan pengelolaan DAS. Sebelum dilakukan simulasi, disarankan adanya penambahan pasangan data kejadian hujan dan aliran untuk menjalankan model, sehingga hasil kalibrasi dan verifikasi model lebih sempurna. Dalam rangka mengeliminasi pengaruh distribusi curah hujan, disarankan untuk menambah stasiun curah hujan sehingga dapat meningkatkan akurasi data. Sebagai penutup, studi ini baru merupakan studi awal dalam rangka implementasi model ANSWERS untuk simulasi perencanaan pengelolaan DAS.

Kata kunci : Model ANSWERS, hutan pinus, hasil sedimen, aliran permukaan, pengelolaan DAS

I. PENDAHULUAN

Data dasar untuk perencanaan dan pelaksanaan kegiatan rehabilitasi lahan dan konservasi tanah (RLKT) pada suatu daerah aliran sungai (DAS) adalah data dan peta *tingkat bahaya erosi* (TBE) dan sedimentasi dari DAS yang bersangkutan (Ditjen RRL, 1998). Untuk melakukan penilaian dan evaluasi TBE dan sedimentasi saat ini masih menggunakan metode pendugaan erosi-sedimentasi berdasarkan model empiris dari *Universal Soil Loss Equation* (USLE) (Wischmeier dan Smith, 1978).

Penerapan model USLE secara umum adalah untuk menduga laju erosi lahan yang terjadi pada suatu DAS, selanjutnya direncanakan kegiatan-kegiatan RLKT-nya agar besar erosi yang terjadi tidak melebihi batas toleransinya, sehingga produktivitas lahan dan kemampuannya tetap dapat dipertahankan (Arsyad, 1989). Dalam perkembangannya metode USLE tersebut dimodifikasi oleh Renard *et al.* (1991) untuk meningkatkan akurasinya, menjadi RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*). Revisi dilakukan terutama pada cara perhitungan nilai faktor kemiringan lahan (LS).

Berdasarkan prinsip pengelolaan DAS bahwa pengelolaan DAS memiliki luaran berupa efek lingkungan, baik *on-site* maupun *offsite*, maka penggunaan model USLE maupun RUSLE belum memberikan cerminan seluruh efek yang terjadi. Model USLE dan RUSLE hanya menggambarkan nilai erosi dan sedimentasi tetapi belum memberikan gambaran luaran berupa debit air dan limpasan permukaan (Wischmeier, 1976). Dalam pemodelan hidrologi, metode USLE dan RUSLE termasuk kategori model empiris dan bersifat *lumped*, di mana parameter dan variabel masukan dan luaran dari model serta besaran yang mewakilinya tidak mempunyai variabilitas keruangan (*spatial*) (Harto, 1993).

Untuk menyempurnakan sistem perencanaan pengelolaan DAS, maka diperlukan model yang lebih cocok yang

mampu mengakomodasi kebutuhan sistem DAS secara menyeluruh. Model ANSWERS atau *Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation* (Beasley dan Huggins, 1991) dapat memenuhi besaran parameter yang mewakili variabilitas keruangan dan waktu (*space and time*), yang disebut model *terdistribusi*. Selain model ANSWERS, hanya ada sedikit sekali tersedia model skala dengan parameter yang terdistribusi lainnya untuk pemodelan NPS (*non point source*) dari suatu DAS, antara lain FESHM (Ross *et al.*, 1982 dalam Sharma dan Singh, 1995), AGNPS (Young *et al.*, 1987 dan Feezor *et al.*, 1989, dalam Sharma dan Singh, 1995), dan SHE (Abott *et al.*, 1986 dalam Salim *et al.*, 2006,), dan GAMES (Cook *et al.*, 1985 dalam Sharma dan Singh, 1995).

Beberapa pertimbangan mengapa digunakan model ANSWERS, antara lain keuntungan dari model ini adalah sebagai berikut (Salim *et al.*, 2006): 1) Dapat memberikan luaran sekaligus, baik berupa debit aliran pada sungai, kehilangan tanah akibat erosi, dan sedimentasi, 2) Mampu memproses kerja simulasi (skenario) secara serentak dalam berbagai kondisi DAS, serta 3) Menganalisis parameter terdistribusi secara sensitif sehingga dapat menghasilkan simulasi akurat terhadap sifat fisik DAS. Meskipun model ANSWERS pada awalnya dikembangkan di daerah *temperate* (sub-tropis), namun beberapa penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa model ini paling bisa diadaptasikan di daerah beriklim kering (tropis) (Moehansyah *et al.*, 2004; Sharma dan Singh, 1995).

Penggunaan model ANSWERS untuk pendugaan erosi-sedimentasi DAS telah banyak dicobakan dan diuji akurasinya oleh para pakar hidrologi. Model ANSWERS ini masih mempunyai keterbatasan untuk penerapannya, seperti ukuran DAS tidak lebih besar dari 10.000 ha dan ukuran normal setiap *grid*-nya berkisar antara 1-4 ha (Beasley *et al.*, 1982; Beasley dan Huggins, 1991). Untuk DAS di

dalam kawasan hutan, model ini belum banyak dicobakan.

Penelitian awal ini mencoba menguji model ANSWERS di dalam DAS di kawasan hutan pinus/tusam (*Pinus merkusii*). Diharapkan hasil pengujian ini selanjutnya bisa digunakan untuk menyempurnakan perencanaan pengelolaan yang ada sekarang. Dengan ditemukannya model prediksi erosi yang tepat, diharapkan perencanaan pengelolaan DAS menjadi lebih tepat dan akurat. Tujuan penelitian awal ini adalah menguji model ANSWERS untuk menduga sedimentasi dan *runoff* DAS di kawasan hutan pinus di sub DAS Silengkong dan Watujali, Kecamatan Sempor, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah.

II. METODOLOGI

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tahun 2003. Lokasi aplikasi model ANSWERS ini dilakukan di sub DAS berpasangan dengan penggunaan lahan hutan pinus, yaitu sub DAS Silengkong (86 km²) dan sub DAS Watujali (92 km²), terletak di Kecamatan Sempor, Kabupaten Kebumen, Provinsi Jawa Tengah. Kondisi tegakan pinus yang ada pada masing-masing sub DAS tahun 2002 disajikan pada Tabel 1.

Jenis tanah di sub DAS Silengkong ada tiga jenis, yaitu Litosol (Entisol) di bagian hulu, Latosol Coklat (Inceptisol) dan Latosol Merah Kuning (Oxisol) di bagian hilir, sedangkan di sub DAS Watujali terdapat dua jenis tanah, yaitu Li-

tosol (Entisol) di bagian hulu dan Latosol Coklat (Inceptisol) di bagian hilir.

B. Bahan dan Peralatan

Jenis bahan dan peralatan yang diperlukan adalah:

1. Data hujan (*automatic rainfall recorder/ARR*)
2. Data hidrologi (*automatic water level recorder/AWLR*) beserta data *rating curve* debitnya.
3. Data erosi-sedimentasi
4. Peta tanah
5. Peta penggunaan lahan
6. Kertas gambar dan alat gambar
7. Peralatan komputer dan *software* model ANSWERS

C. Pengumpulan Data

Pengumpulan data terkait dengan pengumpulan parameter-parameter sebagai *input* model ANSWERS. Data yang harus dikumpulkan meliputi (Beasley dan Huggins, 1991):

1. Data hujan yang berupa intensitas hujan dan kumulatif waktu hujan per kejadian. Data hujan dikumpulkan dari stasiun penakar hujan otomatis (ARR).
2. Karakteristik tanah yang meliputi parameter porositas tanah (*total porosity/TP*), kapasitas lapang (*field capacity/FP*), nilai infiltrasi (FC), selisih laju infiltrasi maksimum vs laju infiltrasi konstan (A), kelembaban tanah awal (*antecedence soil moisture content/ASM*), koefisien infiltrasi (P), kedalaman

Tabel (Table) 1. Luas hutan pinus dan penggunaan lahan lain tahun 2002 di sub DAS Silengkong dan Watujali, Kecamatan Sempor, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah (*Area of pine forest and other land use in 2002 on watershed Silengkong and Watujali sub watersheds, Sempor Subdistrict, Kebumen District, Central Java*)

Sub DAS (<i>Sub watershed</i>)	Luas hutan pinus (<i>Pine forest area</i>) (Ha)							TPR (Ha)	TPB (Ha)
	28 th	25 th	23 th	15 th	8 th	5 th	3 th		
Silengkong	36,9	0	0	4,5	14,2	13,7	16,5	0,5	0,9
Watujali	0	40,18	51,86	0	0	0	0	0	0

Keterangan (*Remarks*):

TPR = Tempat Penimbunan Kayu (*Log yard*); TPB = Tanah Tidak Berproduktif (*Unproductive land*)

zone pengamatan infiltrasi tanah pada horizon A (DF), dan faktor erodibilitas tanah USLE (K). Data diperoleh dengan cara survei dan pengambilan contoh tanah di lokasi yang telah ditentukan.

3. Penggunaan lahan yang meliputi parameter kondisi permukaan tanah mencakup jenis penggunaan lahan dan pengelolaannya (P), volume potensi intersepsi (PIT), persentase penutupan permukaan untuk setiap jenis penggunaan lahan (PER), koefisien Manning (n), karakteristik tampungan permukaan dan luas genangan permukaan, koefisien kekasaran (RC), dan tinggi kekasaran maksimum (HU). Data penggunaan lahan tersebut diperoleh dengan cara survei.
4. Data saluran atau sungai yang meliputi parameter lebar saluran (CW) dan koefisien kekasaran saluran Manning (C). Data tersebut diperoleh dengan cara survei langsung.
5. Data kondisi fisik DAS lainnya dari parameter topografi yang berupa tinggi elevasi rata-rata, arah lereng, dan kemiringan lereng lahan per elemen (*grid*). Data topografi tersebut diperoleh dengan cara mengukur pada peta topografi serta pengecekan di lapangan (*ground check*).

Data yang dikumpulkan merupakan data *input* untuk tiap elemen (*grid*) yang ada pada sub DAS yang dibuat dengan bantuan peta topografi. Data yang telah terkumpul kemudian dimasukkan ke dalam daftar isian sesuai *format* yang ada pada *software* model ANSWERS.

D. Analisis Data

Sebelum sampai pada tahap pengujian, dilakukan dahulu proses kalibrasi model, yaitu memasukkan parameter-parameter data pada *input* model ANSWERS yang diikuti dengan menjalankan (*running*) model untuk mendapatkan luaran (*output*) berupa hasil prediksi limpasan langsung (*Q-prd*) dan hasil prediksi erosi tanah (*E-prd*) untuk tiap kejadian hujan (*rainfall event*). Pengujian dan kalibrasi tingkat akurasi an-

tara *runoff* hasil diprediksi dari model (*Q-prd*) dengan *runoff* dari pengamatan lapangan (*Q-act*) dilakukan dengan metode uji-T (Mandel, 1964) untuk luaran modelnya untuk suatu kejadian hujan yang terpilih (misal hujan dengan tebal dan intensitas hujan yang tinggi).

Verifikasi pada proses kalibrasi model ini diperlukan jika antara hasil prediksi *runoff* (*Q-prd*) dengan *runoff* aktual (*Q-act*) nilainya berbeda nyata. Dengan cara coba-coba (*trial and error*), yaitu merubah nilai dari parameter-parameter *input* (diperbesar atau diperkecil), kemudian model dijalankan lagi, demikian seterusnya sampai didapatkan hasil antara *Q-prd* dan *Q-act* pengujian tidak berbeda nyata. Berdasarkan keluaran model dari beberapa nilai kejadian hujan serta nilai-nilai hasil keluarannya (*Q-prd* vs *Q-act*), selanjutnya dibuat persamaan antara tebal hujan vs tebal limpasan langsung serta persamaan antara tebal hujan vs tingkat erosi tanah (*E-prd*) dan atau hasil sedimen. Dari persamaan hubungan antara tebal hujan dengan *Q-prd* dan tebal hujan dengan *E-prd*, persamaan tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai limpasan permukaan dan nilai tingkat erosi tahunan sub DAS. Untuk menguji hasil prediksi limpasan dan tingkat erosi tahunan sub DAS, maka nilai prediksi tersebut diperbandingkan dengan nilai aktualnya yang merupakan hasil pengamatan lapangan di stasiun pengamatan arus sungai (SPAS). Besar kecilnya selisih antara nilai prediksi dengan nilai aktual akan menunjukkan tingkat akurasi model jika diterapkan pada sub DAS yang bersangkutan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Parameter Input Model ANSWERS

Hasil analisis data sebagai parameter *input* model ANSWERS terdiri dari data hujan, tanah, vegetasi, penggunaan lahan serta informasi pendukung tiap elemen disajikan pada uraian di bawah ini.

Data masukan hujan untuk model ANSWERS di sub DAS Silengkong dan Watujali yang digunakan untuk uji akurasi model masing-masing telah dipilih beberapa kejadian hujan (*rainfall event*) pasangan hujan-limpasannya. Kejadian hujan terpilih untuk masing-masing sub DAS disajikan pada Tabel 2.

Pada sub DAS Silengkong dan Watujali yang merupakan sub DAS berpasangan, penakar hujan otomatis (ARR) hanya ada satu unit yang dianggap mewakili kedua sub DAS.

Data masukan parameter tanah untuk sub DAS Silengkong dan Watujali disajikan pada Tabel 3.

Data masukan parameter tanaman untuk sub DAS Silengkong dan Watujali disajikan pada Tabel 4.

Data spesifikasi saluran (*channel*) di tiap sub DAS disajikan pada Tabel 5.

B. Pengujian Model ANSWERS

Kalibrasi *output* model berupa volume limpasan langsung prediksi (*Q-prd*) dari model ANSWERS dengan nilai aktualnya (*Q-act*) di sub DAS Silengkong dan Watujali disajikan pada Gambar 1. Pada sub DAS Watujali, kejadian banjir (*flood event*) besar terpilih untuk pengujian (kalibrasi) model adalah tanggal 21 Januari 2003, sedangkan pada sub DAS Silengkong terpilih kejadian hujan tanggal 8 Februari 2003.

Setelah dilakukan kalibrasi, tahapan model berikutnya merupakan verifikasi model dengan memanfaatkan beberapa

Tabel (Table) 2. Tanggal kejadian hujan terpilih untuk pengujian akurasi model ANSWERS di sub DAS Silengkong dan Watujali (*Dates of rainfall event choosen for testing ANSWERS model on Silengkong and Watujali sub watersheds*)

No (No)	Tanggal kejadian hujan (<i>Rainfall event dates</i>)	Tebal hujan (<i>Number of rainfall</i>) (mm)
1.	21 Januari/ <i>January</i> 2003	127
2.	31 Januari/ <i>January</i> 2003	70
3.	6 Pebruari/ <i>February</i> 2003	65
4.	8 Pebruari/ <i>February</i> 2003	80
5.	11 Pebruari/ <i>February</i> 2003	30

Tabel (Table) 3. Data masukan parameter tanah pada sub DAS Silengkong dan Watujali (*Soil input parameters data on Silengkong and Watujali sub watersheds*)

Sub DAS (<i>Sub watershed</i>)	Nilai parameter tanah (<i>Soil parameters</i>)								
	No. jenis tanah (<i>Soil type number</i>)	TP	FP	FC	A	P	DF	ASM	K
Silengkong	1	0,46	0,34	0,740	2,300	0,60	15,00	0,70	0,11
	2	0,48	0,34	0,550	2,600	0,55	20,00	0,60	0,11
	3	0,48	0,34	0,550	2,600	0,55	20,00	0,60	0,11
Koefisien drainase (<i>Drainage coefficient for tile drains</i>) = 5,00 mm/24 jam									
Fraksi pelepasan air tanah (<i>Ground water release fraction</i>) = 0,005									
Watujali	1	0,40	0,35	0,250	2,000	0,65	20,00	0,55	0,20
	2	0,42	0,35	0,270	2,025	0,55	30,00	0,50	0,18
Koefisien drainase (<i>Drainage coefficient for tile drains</i>) = 5,00 mm/24 jam									
Fraksi pelepasan air tanah (<i>Ground water release fraction</i>) = 0,005									

Keterangan (*Remarks*) :

TP = Total porositas (*Total porosity*)

FP = Kapasitas lapang (*Field capacity*)

FC = Laju infiltrasi (*Infiltration rate*)

A = Laju infiltrasi maksimum – laju infiltrasi konstan (*Max. infiltration rate – Constant infiltration rate*)

P = Koefisien infiltrasi (*Infiltration coefficient*)

DF = Kedalaman zona pengamatan infiltrasi tanah pada horizon A (*Infiltration control zone depth at A horizon*)

ASM = Kelembaban tanah awal (*Antecedence soil moisture content*)

K = Nilai erodibilitas tanah (*Soil erodibility*)

Tabel (Table) 4. Data masukan parameter tanaman pada sub DAS Silengkong dan Watujali (*Crop input parameters data at Silengkong and Watujali sub watersheds*)

Sub DAS (Sub watershed)	Parameter penutupan lahan/tanaman (<i>Crops parameters</i>)							
	No. jenis tanaman (No. of crop type)	Jenis tanaman (Crop type)	PIT	PER	RC	HU	N	C
Silengkong	1	Pin74	1,7	0,80	0,45	200	0,200	0,01
	2	Pin87	1,5	0,80	0,45	150	0,150	0,01
	3	Pin94	1,0	0,60	0,45	200	0,150	0,01
	4	Pin97	1,0	0,50	0,45	150	0,150	0,01
	5	Pin01	0,5	0,30	0,45	130	0,200	0,05
Watujali	1	Pin77	2,5	0,90	0,45	200	0,250	0,01
	2	Pin79	2,5	0,87	0,45	190	0,250	0,01

Keterangan (*Remarks*) :

PIT = Potensi intersepsi (*Potential interception*)

PER = Persen penutupan permukaan (*Percentage of cover crop*)

RC = Koefisien kekasaran (*Roughness coefficient*)

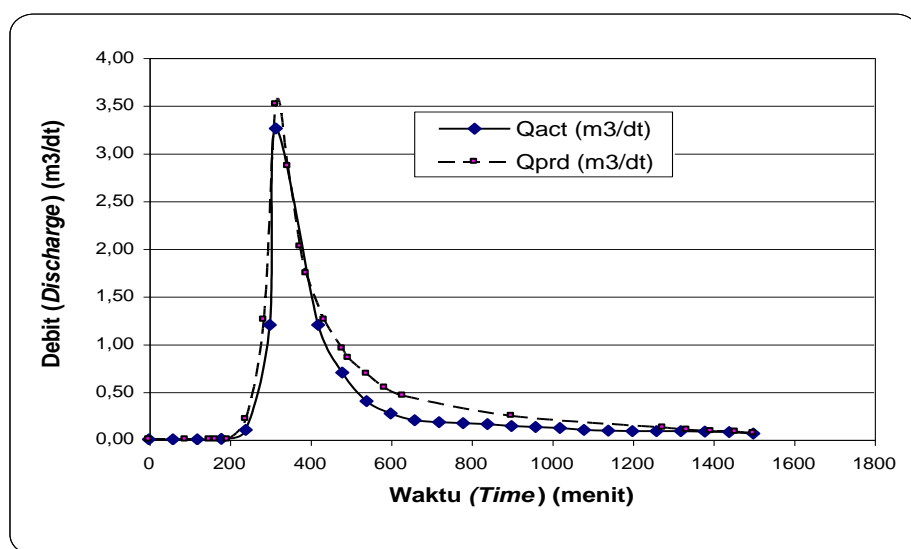
HU = Tinggi kekasaran maksimum (*Max. roughness height*)

N = Koefisien Manning (*Manning coefficient*)

C = Erosivitas relatif (*Relative erosiveness*)

Tabel (Table) 5. Data masukan parameter saluran pada sub DAS Silengkong dan Watujali (*Channel types input parameters data on Silengkong and Watujali sub watersheds*)

Sub DAS (Sub watershed)	Parameter spesifikasi saluran (<i>Channel parameters</i>)		
	No. saluran (Channel number)	Lebar (<i>Width</i>) (m)	Koef. kekasaran Manning (<i>Roughness coeff.</i>)
Silengkong	1	1,00	0,0500
	2	4,00	0,0500
	3	8,00	0,0800
	4	10,00	0,0800
Watujali	1	1,00	0,1000
	2	4,00	0,2500
	3	6,00	0,3000
	4	10,00	0,3000



Gambar (Figure) 1. Kalibrasi model ANSWERS terhadap nilai Q_{prd} di sub DAS Watujali pada kejadian hujan tanggal 21 Januari 2003 (*Calibration of ANSWERS model on Q_{prd} value on Watujali sub watershed on January, 21th 2003 rainfall event*)

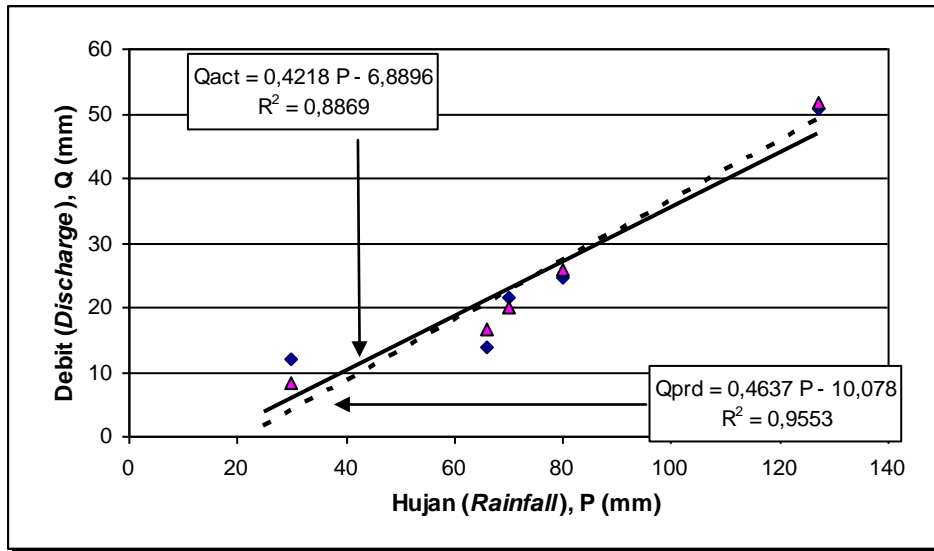
kejadian hujan seperti telah disebutkan di awal. Verifikasi model pada sub DAS Watujali disajikan pada Gambar 2.

Kalibrasi model dan verifikasi hasil kalibrasi model pada sub DAS Silengkong disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Keluaran hasil erosi per kejadian hujan dari model ANSWERS di sub DAS

Watujali dan Silengkong disajikan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

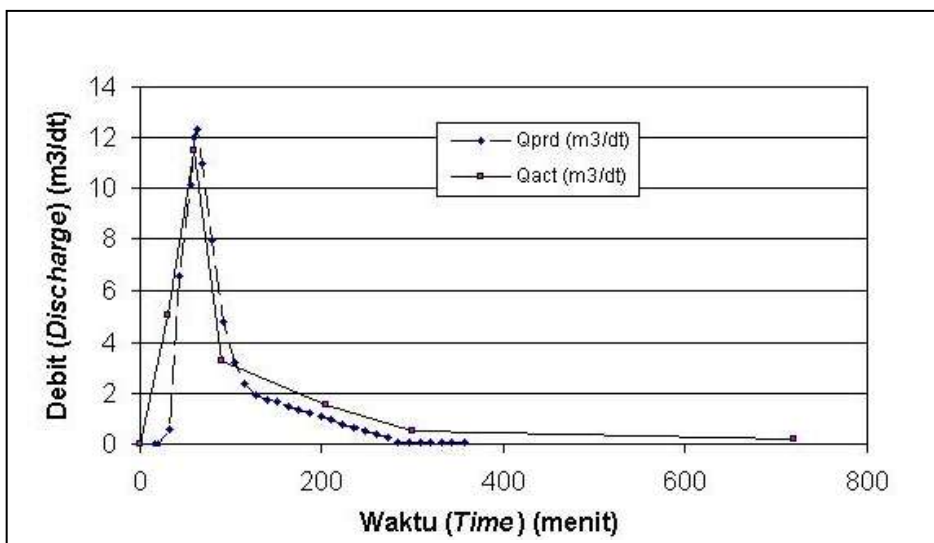
Nilai parameter limpasan langsung dan erosi dari beberapa kejadian hujan terpilih selanjutnya dimanfaatkan untuk membuat persamaan hubungan hujan dengan limpasan langsung dan hujan dengan erosi. Persamaan tersebut seperti disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



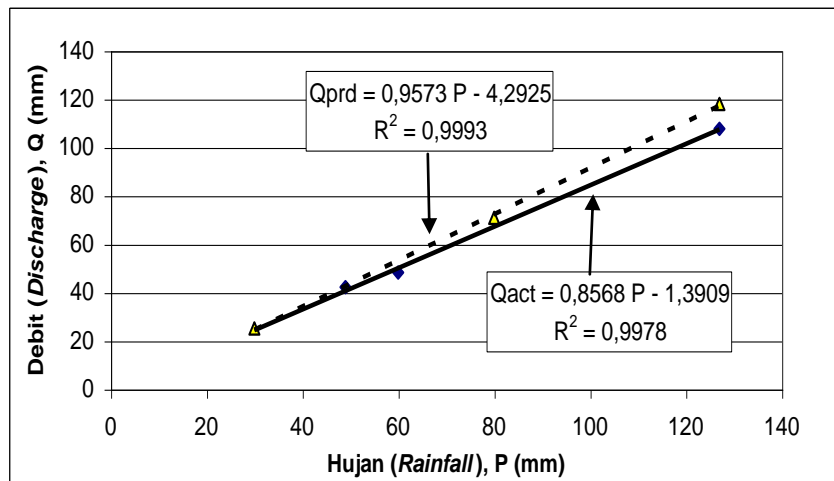
Gambar (Figure) 2. Hubungan hujan dengan Q_{act} (runoff aktual) dan Q_{prd} (runoff prediksi) di sub DAS Watujali (Relationship between rainfall and Q_{act} (runoff actual) and Q_{prd} (runoff predicted) on Watujali sub watershed)

Keterangan (Remark) :

Hasil uji-T antara Q_{actual} dan $Q_{answers}$ terdapat dalam Lampiran 1 (*t-test result between Q_{act} and Q_{ans} is in The Appendix 1*)



Gambar (Figure) 3. Kalibrasi model ANSWERS terhadap nilai Q_{prd} di sub DAS Silengkong pada kejadian hujan tanggal 8 Februari 2003 (Calibration of ANSWERS model on predicted direct runoff rate on Silengkong sub Watershed on February, 8th 2003 rainfall event)



Gambar (Figure) 4. Hubungan hujan dengan Q-aktual dan Q-prediksi di sub DAS Silengkong (*Relationship between rainfall and Q-actual and Q-predicted on Silengkong sub watershed*)

Keterangan (Remark) :

Hasil uji-T antara *Q-actual* dan *Q-answers* terdapat dalam Lampiran 1 (*t-test result between Q-act and Q-ans is in the Appendix 1*)

Tabel (Table) 6. Hasil erosi prediksi model ANSWERS pada setiap kejadian hujan di sub DAS Watujali (*Soil erosion prediction from ANSWERS model on each rainfall event, on Watujali sub watershed*)

No. (No.)	Kejadian hujan (Rainfall event)	P (Rainfall) (mm)	Q-prd (Direct runoff) (mm)	Erosi (Erosion) (kg/ha)
1	21/01/03	127	51,772	112,0
2	31/01/03	70	19,970	25,0
3	06/02/03	65	16,735	22,0
4	08/02/03	80	25,928	97,0
5	11/02/03	30	8,166	1,5

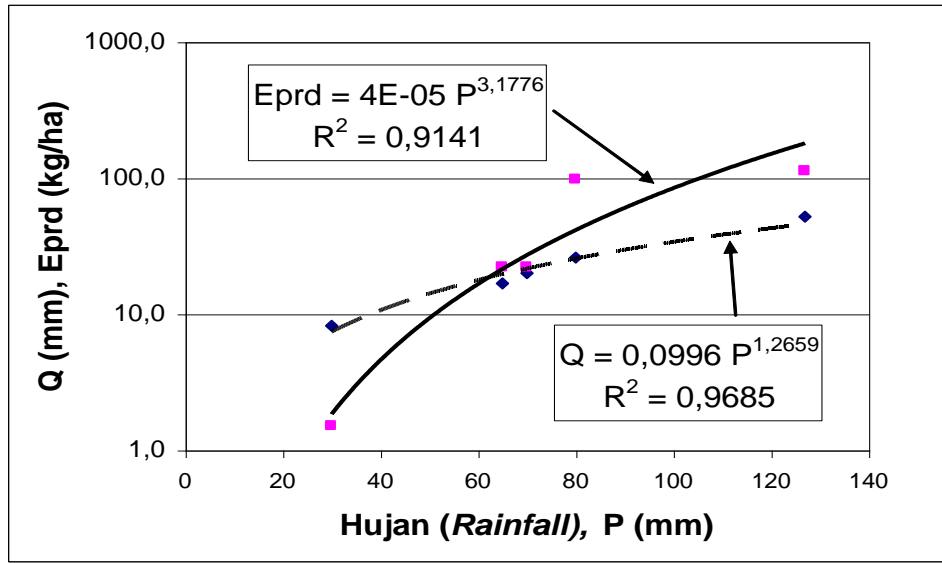
Tabel (Table) 7. Hasil erosi prediksi model ANSWERS pada setiap kejadian hujan di sub DAS Silengkong (*Soil erosion prediction from ANSWERS model on each rainfall event, on Silengkong sub watershed*)

No. (No.)	Kejadian hujan (Rainfall event)	P (Rainfall) (mm)	Q-prd (Direct runoff) (mm)	Erosi (Erosion) (kg/ha)
1	21/01/03	127	118,000	662,0
2	31/01/03	70	63,000	345,0
3	06/02/03	65	57,600	300,0
4	08/02/03	80	70,900	394,0
5	11/02/03	30	25,100	131,0

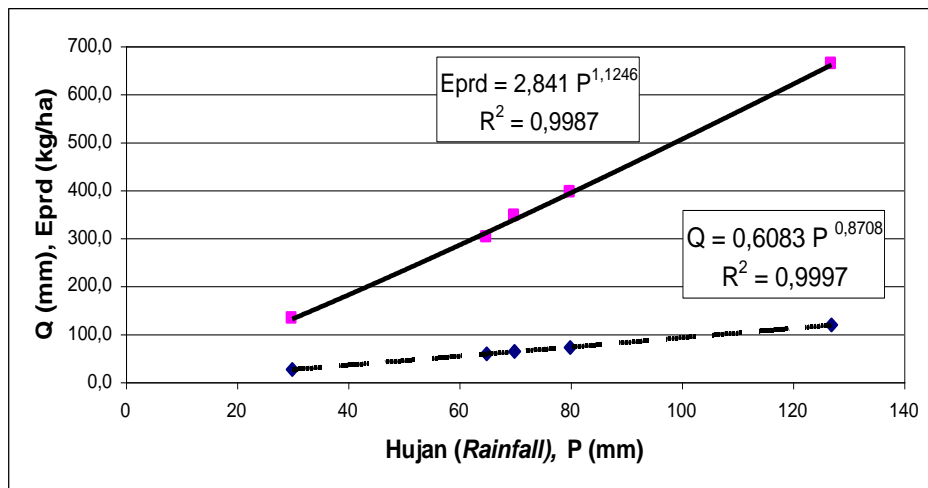
Luaran erosi tahunan total (*E-prd*) diprediksi dengan ANSWERS untuk data tahun 2002 di sub DAS Watujali dan Silengkong yang diperbandingkan dengan nilai aktualnya (*E-act*) disajikan pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Dari Tabel 8 terlihat bahwa akurasi model ANSWERS untuk menduga ting-

kat erosi sub DAS pada DAS dengan formasi geologi vulkanik (sub DAS Watujali) tahun 2002 lebih kecil (*under estimate*) daripada nilai aktualnya, dengan selisih sebesar 1,741 ton/ha. Sedang prediksi nilai limpasan langsung tahunannya lebih besar dibandingkan nilai aktualnya, dengan selisih sebesar 81,59 mm.



Gambar (Figure) 5. Hubungan antara hujan (P) dengan nilai limpasan langsung (Q) dan erosi prediksi (E prd) model ANSWERS pada sub DAS Watujali (*Relationship between rainfall (P) and direct runoff (Q) and erosion prediction (E prd) on Watujali sub watershed*)



Gambar (Figure) 6. Hubungan antara hujan dengan nilai volume limpasan langsung dan hasil sedimen prediksi ANSWERS pada sub DAS Silengkong (*Relationship of rainfall with direct runoff and sediment yield predicted on Silengkong sub watershed*)

Tabel (Table) 8. Hasil erosi tahunan total (E-prd) tahun 2002 dari model ANSWERS dan aktual (E-act) di sub DAS Watujali (*Total annual erosion prediction rate and actual rate in 2002 on Watujali sub watershed*)

Parameter hidrologi (Hydrological parameters)	Aktual (Actual value)	Prediksi (Predicted value)	Selisih (Difference)
Volume limpasan langsung (Direct runoff) (mm)	494,45	576,04	(+) 81,59
Laju erosi (Erosion rate) (ton/ha)	2,946	1,208	(-) 1,741

Tabel (Table) 9. Hasil erosi tahunan total (E-prd) tahun 2002 dari model ANSWERS dan aktual (E-act) di sub DAS Silengkong (*Total annual erosion rate prediction and actual rate in 2002 on Silengkong sub watershed*)

Parameter hidrologi (Hydrological parameters)	Aktual (Actual value)	Prediksi (Predicted value)	Selisih (Difference)
Volume limpasan langsung (Direct runoff) (mm)	845,42	938,41	(+) 92,99
Laju erosi (Erosion rate) (ton/ha)	6,097	10,116	(+) 4,019

Dari Tabel 9 terlihat bahwa akurasi model ANSWERS untuk menduga tingkat erosi sub DAS pada DAS dengan formasi geologi vulkanik (sub DAS Silengkong) tahun 2002 hasilnya lebih besar (*over estimate*) daripada nilai aktualnya, dengan selisih sebesar 4,019 ton/ha. Begitu juga prediksi nilai volume limpasan langsung tahunan hasilnya lebih besar dibandingkan nilai aktualnya, dengan selisih sebesar 92,99 mm. Terjadinya selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi model dapat merupakan kelebihan nilai (*over estimate*) maupun kekurangan nilai (*under estimate*), merupakan hal yang biasa dalam pemodelan hidrologi (Paimin dan Sukresno, 2000).

Berdasarkan hasil di atas, terlihat bahwa hasil kalibrasi model menunjukkan tidak berbeda nyata, tetapi hasil prediksi volume limpasan langsung dan hasil erosi tahunan berbeda cukup besar dibandingkan nilai aktualnya. Hal ini terjadi karena perhitungan hanya didasarkan pada pasangan data hujan (ARR) dan data aliran (AWLR) yang terpilih, tidak berdasarkan nilai pasangan hujan dan limpasan sepanjang tahun. Kurang akuratnya data hasil perhitungan model dapat terjadi karena kurang tepatnya dalam pemilihan pasangan data hujan dan aliran (Paimin dan Sukresno, 2000). Dari hasil seperti di atas, disarankan untuk dicoba penggunaan perhitungan yang dilakukan tidak hanya didasarkan pada keterwakilan pasangan curah hujan dan limpasan terpilihnya. Selanjutnya untuk dapat digunakan dalam simulasi model, parameter-parameter yang digunakan perlu penambahan pasangan data yang lebih banyak agar persamaan hubungan hujan-limpasan dan hujan-erosi untuk perhitungan prediksi limpasan dan erosi tahunan bisa diperoleh nilai yang akan mendekati nilai aktualnya.

Hasil di atas mengindikasikan bahwa model ANSWERS belum dapat memberikan informasi yang akurat dalam perencanaan pengelolaan DAS. Meskipun hasil kalibrasi dan verifikasi model menunjukkan signifikansi antara debit prediksi dan

aktualnya, namun selisih nilai erosi tahunannya masih cukup besar. Dalam rangka mengeliminasi pengaruh distribusi curah hujan, disarankan untuk menambah stasiun curah hujan sehingga dapat meningkatkan akurasi data.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian awal di atas, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

1. Hasil pengujian model ANSWERS pada lima kejadian hujan menunjukkan antara nilai limpasan prediksi dengan model (Q_{prd}) dan nilai aktualnya (Q_{act}) tidak berbeda nyata, baik untuk sub DAS Silengkong dan sub DAS Watujali, namun hasil perhitungan hasil erosi tahunan memperlihatkan selisih yang cukup besar.
2. Perbedaan di atas sangat dimungkinkan terjadi karena pemilihan data pasangan hujan dan limpasan yang kurang tepat, serta kurang akuratnya data terpilih dalam mewakili luasan wilayah sub DAS.
3. Dengan hasil tersebut di atas maka model ANSWERS ini belum dapat digunakan untuk simulasi dalam perencanaan pengelolaan DAS. Oleh sebab itu studi awal pengujian model ANSWERS ini perlu diuji lebih lanjut dengan menambah data yang lebih banyak dan akurat.

B. Saran

Sebelum melakukan simulasi model dan uji sensitivitas terhadap masing-masing parameter model, perlu menjalankan model dengan masukan data *input* pasangan hujan dan aliran yang lebih banyak lagi, agar persamaan hubungan hujan, limpasan langsung, dan tingkat erosi prediksi yang diperoleh mendekati kondisi aktual.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. A. Ngaloken Gintings atas komentar dan *review* yang diberikan selama perbaikan artikel ini, serta teknisi dan petugas lapangan dari BPK Solo yang telah membantu dalam pelaksanaan kegiatan penelitian di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 1989. Soil and Water Conservation (Translated). IPB Press, Bogor, Indonesia.
- Beasley, D.B., L.F. Huggins, dan E.J. Monke. 1982. Modeling Sediment Yields from Agricultural Watersheds. *J. Soil and Water Conservation*, 37(2):113-117.
- Beasley, D. B. dan L.F. Huggins. 1991. ANSWERS: User's Manual (2nd ed.). Agricultural Engineering Dep. Pub. No. 5, USEPA, Region V, Chicago, IL-Purdue University, West Lafayette, IN. USA.
- Ditjen RLL. 1998. Pedoman Penyusunan RTL RLKT DAS. Ditjen RLL, Jakarta.
- Harto, S. 1993. Hidrologi untuk Pengairan. P.T. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Mandel, J. 1964. The Statistical Analysis of Experimental Data. Dover Publication, Inc. New York. pp 102-130.
- Moehansyah, H., B.L. Maheshwari and J. Armstrong. 2004. Field Evaluation of Selected Soil Erosion Models for Catchment Management in Indonesia. *Biosystems Engineering* Vol. 88, Issue 4, August 2004. pp 491-506.
- Paimin dan Sukresno. 2000. Pengujian Model ANSWERS untuk Prediksi Erosi dan Limpasan: Studi Kasus Sub DAS Wuryantoro. Prosiding Ekspose Hasil Litbang BTPDAS Surakarta.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, dan J.P. Porter. 1991. RUSLE. Revised Universal Soil Loss Equation. *Jour. Soil and Water Cons.* 46 (1).
- Salim, H.T., M.S.B. Kusuma, dan Nazili. 2006. Pemodelan Hubungan Hujan, Limpasan dan Kapasitas Erosi pada Suatu DAS yang Masuk ke Palung Sungai. *PROC. ITB Sains & Tek.* 38 A (1): 51-72. Bandung.
- Sharma, K.D. and S. Singh. 1995. Satellite Remote Sensing for Soil Erosion Modelling Using the ANSWERS Model. *Hydrological Science -Journal- des Sciences Hydrologiques* 40 (2): 259-272.
- Wischmeier, W.H. 1976. Use and Misuse of Universal Soil Loss Equation. *J. Soil and Water Cons.* 31(1):5-9.
- Wischmeier, W.H. and D. D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning. USDA, Ag. Handbook No. 537. 58 p.

Lampiran (Appendix) 1. Hasil uji-T *output runoff* prediksi model ANSWERS dengan *runoff* aktual (*T-test results of prediction runoff versus actual runoff by ANSWERS model*)

T-Test SILENGKONG

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	PREDIKSI	47,35600	10	28,97086	9,16139
	AKTUAL	45,73171	10	25,94139	8,20339

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	PREDIKSI & AKTUAL	10	,994	,000

Paired Samples Test

		Pair 1	
		PREDIKSI - AKTUAL	
Paired Differences	Mean		1,62429
	Std. Deviation		4,25704
	Std. Error Mean		1,34619
	95% Confidence Interval of the Difference	Lower	-1,42101
		Upper	4,66959
t			1,207
df			9
Sig. (2-tailed)			,258

T-Test WATUJALI

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	PREDIKSI	27,01818	11	15,37979	4,63718
	AKTUAL	26,85818	11	13,98922	4,21791

Paired Samples Correlations

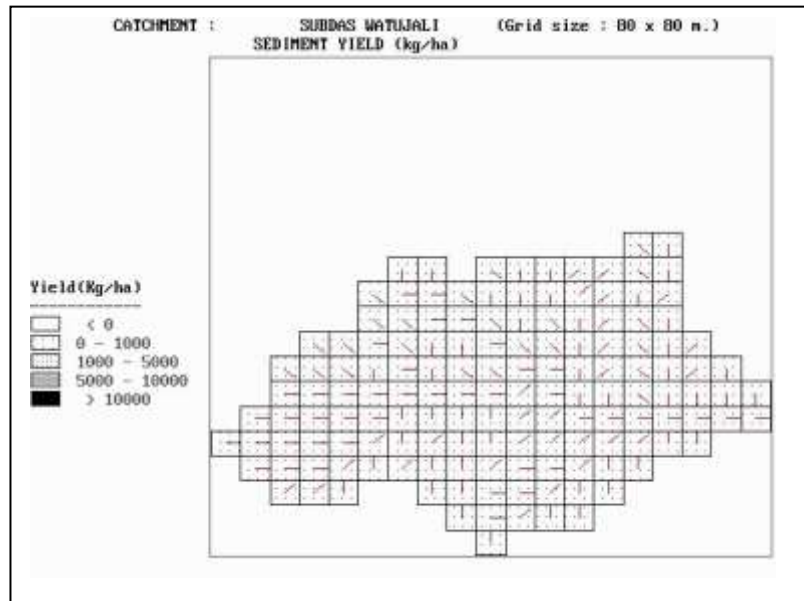
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	PREDIKSI & AKTUAL	11	1,000	,000

Paired Samples Test

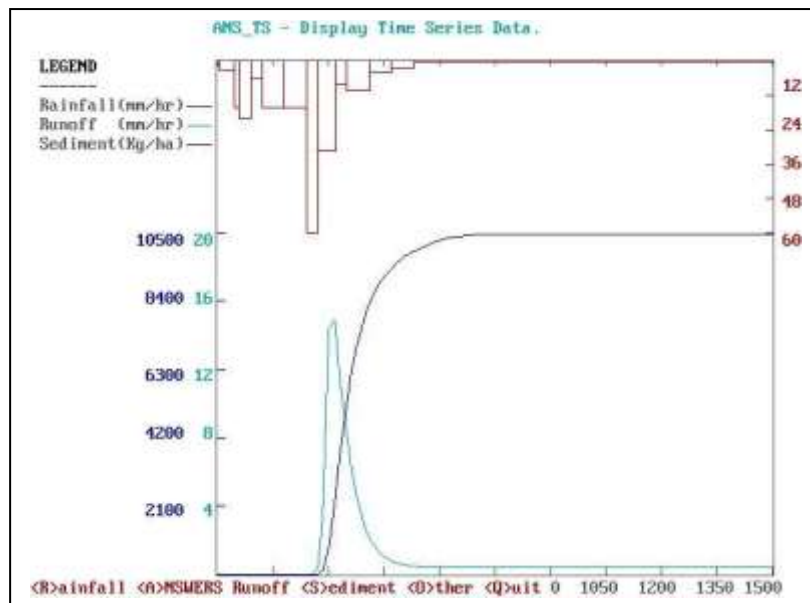
		Pair 1	
		PREDIKSI - AKTUAL	
Paired Differences	Mean		,16000
	Std. Deviation		1,39058
	Std. Error Mean		,41927
	95% Confidence Interval of the Difference	Lower	-,77420
		Upper	1,09420
t			,382
df			10
Sig. (2-tailed)			,711

Lampiran (Appendix) 2. Contoh keluaran model ANSWERS (*Samples of ANSWERS model output*)

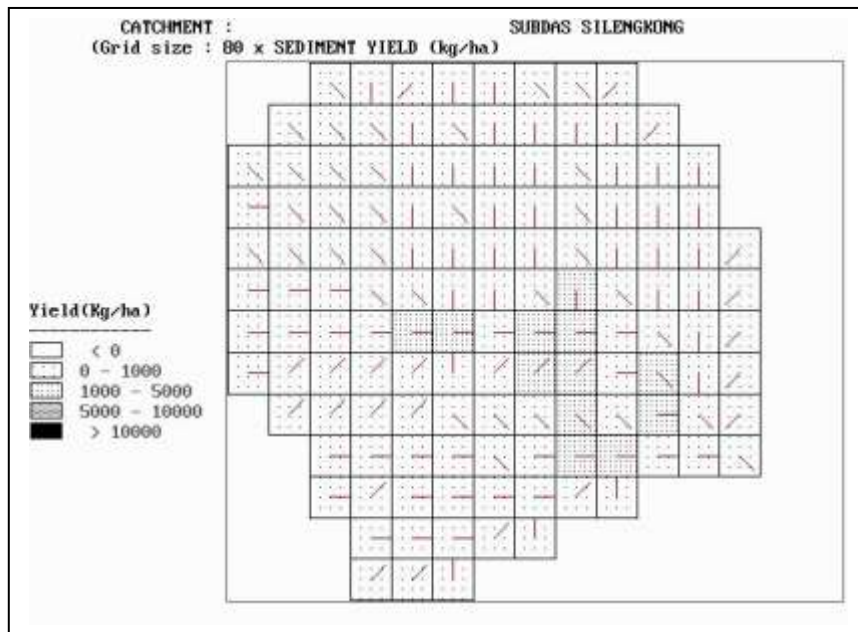
- a. Sebaran hasil sedimen pada sub DAS Watujali, kejadian tanggal 21 Januari 2003 (*Distribution of sediment yield on Watujali sub watershed on 21st January 2003*)



- b. Hidrograf-hitograf dan sedigraf pada sub DAS Watujali, kejadian tanggal 21 Januari 2003 (*Distribution of hydrograph, hytograph and sedigraf on Watujali sub watershed on 21st January 2003*)



- c. Sebaran hasil sedimen pada sub DAS Silengkong, kejadian tanggal 8 Februari 2003 (*Distribution of Sediment yield on Silengkong sub watershed on 8th February 2003*)



- d. Hidrograf-hitograf dan sedigraf pada sub DAS Silengkong, kejadian tanggal 8 Februari 2003 (*Distribution of hydrograph, hytograph and sedigraf on Silengkong sub watershed on 8th February 2003*)

