

APLIKASI MODEL AVSWAT2000 UNTUK PREDIKSI LIMPASAN PERMUKAAN, EROSI, DAN SEDIMENTASI DI SUB DAS KEDUANG: DAS BENGAWAN SOLO HULU

Application Model AVSWAT2000 to Predict Surface Runoff, Erosion, and Sedimentation
in Keduang Watershed: Upper Bengawan Solo Watershed

Siti Mechram¹, Muhjidin Mawardi², Putu Sudira²

¹Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Tanoh Abee, Banda Aceh

²Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora No.1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281

Email: mechram_tp@yahoo.com

ABSTRAK

Data laju erosi yang diperoleh dari model hidrologi dapat digunakan dalam pengambilan keputusan untuk menentukan usaha konservasi lahan yang dapat mengurangi laju erosi yang terjadi di DAS. Model hidrologi yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah model AVSWAT2000 (*Arc View Soil and Water Assessment Tools 2000*) yang dapat memprediksi limpasan permukaan, erosi dan sedimentasi. Penelitian ini dilakukan di sub DAS Keduang (36.574,34 Ha). Hasilnya menunjukkan bahwa, besarnya limpasan permukaan, erosi dan sedimentasi di sub DAS Keduang pada kondisi saat ini masing-masing sebesar 424,09 mm, 87,87 ton/ha/th, dan 375,07 ton/th. Dengan melakukan perubahan penggunaan lahan jumlah limpasan permukaan, erosi dan sedimentasi bisa mengalami penurunan, di sub DAS Keduang laju limpasan permukaan, erosi dan sedimentasi menurun masing-masing menjadi 412,61 mm, 36,78 ton/ha/th, dan 353,60 ton/th.

Kata-kata kunci: Limpasan permukaan, erosi, sedimentasi, model AVSWAT2000

ABSTRACT

Erosion rate data obtained from the hydrological model can be used in making decisions to determine which land conservation efforts can reduce the rate of soil erosion in the watershed. The hydrologic model applied is AVSWAT2000 (*Arc View Soil and Water Assessment Tools 2000*) to predict surface runoff, erosion, and sedimentation. This study was conducted at sub watershed Keduang (36.574,34 Ha). The results indicated that surface runoff, erosion, and sedimentation in Keduang watershed at the existing condition are 424,09 mm, 87,87 ton/ha/th, and 375,07 ton/th, respectively. By simulation by adjusting the land use scenario, the surface runoff, erosion, and sedimentation rate could be reduce to become : 412,61 mm, 36,78 ton/ha/th, 353,60 ton/th, respectively, In Keduang watershed.

Key words: Surface runoff, erosion, sedimentation, model AVSWAT2000

PENDAHULUAN

Keduang merupakan DAS terluas diantara enam DAS yaitu Wuryantoro, Alang, Temon, Keduang, Wiroko dan Solo hulu yang menjadi *cathment area* waduk Gajah Mungkur. Secara geografis, DAS Keduang terletak pada 7°42'29" - 7°55'39" LS dan 4°11'01" - 4°24'54" BT. DAS Keduang termasuk ke dalam kelompok DAS dengan curah hujan tahunan yang tinggi yaitu 5.404 mm/thn dengan jumlah hari

hujan 164 hari (Proyek Penelitian dan Pengembangan DAS, 1998).

Stasiun pengamatan arus sungai DAS Keduang terletak di Dukuh Ngadipiro, Desa Ngadipiro, Kec. Nguntoronadi, Kab. Wonogiri. Stasiun ini dilengkapi dengan alat penakar hujan otomatis (*Automatic Rainfall Recorder*) dan alat pengukur tinggi muka air otomatis (AWLR) yang terletak di dukuh Gondangsari, Kec. Jatisrono, Kab. Wonogiri.

Besarnya pengaruh teknik konservasi tanah terhadap erosi dan aliran permukaan dapat dievaluasi dengan melakukan pengukuran secara langsung di lapangan atau dengan memprediksinya menggunakan model. Pengukuran secara langsung membutuhkan waktu pengamatan yang relatif lama dan memerlukan biaya yang mahal, baik untuk instalasi alat, pengoperasian, maupun pemeliharaan alat. Oleh karena itu, penggunaan model dapat menjadi salah satu pilihan. AVSWAT2000 merupakan salah satu model hidrologi yang sudah lama dikembangkan, akan tetapi aplikasinya di Indonesia masih kurang digunakan.

SWAT adalah model hidrologi yang dikembangkan untuk memprediksi pengaruh pengelolaan lahan terhadap hasil air, sedimen, muatan pestisida dan kimia hasil pertanian dalam periode waktu yang panjang. Penelitian yang dilakukan Neitsch *et al.*, (2002); Fohrer dan Frede, 2002 dalam Purwanto (2008) melaporkan bahwa SWAT mampu menggambarkan pengaruh pengelolaan lahan terhadap hidrologi DAS. Girolamo *et al.*, (2003) mengintegrasikan SIG dan SWAT, dan menyimpulkan bahwa integrasi SIG dan SWAT sesuai untuk mengevaluasi kondisi hidrologi penggunaan lahan pertanian.

Pengujian terhadap penggunaan model SWAT untuk memprediksi limpasan permukaan, erosi, dan sedimentasi pada DAS telah banyak dilakukan, antara lain oleh Jha and Misra (2007), Stehr, *et al.* (2008), Surgawa (2004) serta Purwanto (2008), model ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan yang dimiliki model ini adalah dalam hal membangkitkan data (Stehr, *et al.*, 2008), dan mampu mensimulasikan dalam periode yang panjang (> 50 tahun) dan kekurangannya adalah memiliki keterbatasan terhadap keakuratan hasilnya jika model diterapkan pada DAS dengan ukuran lebih kecil dari 100 km² (Schwab, *et al.* 2006).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perkiraan besarnya limpasan permukaan, erosi, dan sedimentasi, dari berbagai kondisi penggunaan lahan di sub DAS Keduang, pada kondisi saat ini dan kondisi setelah dilakukan skenario penggunaan lahan.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah data harian berupa hujan, debit, klimatologi dari tahun 1995-2004, peta DEM, peta penggunaan lahan, peta jenis tanah dan peta jaringan sungai. Peralatan yang digunakan adalah komputer.

Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu: (i) tahap persiapan. Pada tahap ini dilakukan studi pustaka,

pengumpulan bahan dan alat-alat yang digunakan dalam penelitian. Bahan berupa data spasial dan data non spasial akan dihimpun dari BPK (Dinas kehutanan) Solo, dan atau dinas instansi terkait dengan pengelolaan sumber daya air Bengawan Solo, seperti BBWS Bengawan Solo, dan BPSDA (Dinas Pekerjaan Umum). (ii) Tahap Validasi Data. Pada tahap ini dilakukan pengujian konsistensi data hujan sebelum digunakan dalam pengujian model. Termasuk di dalam tahap validasi data adalah kegiatan pemilihan kejadian hujan dan debit sungai yang akan digunakan dalam model. Di dalam analisis hidrologi perlu dilakukan pengujian konsistensi data hujan yang diperoleh dengan menggunakan teknik RAPS (*Rescaled Adjusted Partical Sums*).

Analisis dan Pengolahan Data

Analisis dan pengolahan data dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu: pengolahan data hujan, penetapan kebijakan penggunaan lahan dengan menggunakan Sistem Informasi Geografi (SIG), analisis limpasan permukaan, erosi dan sedimentasi dengan menggunakan AVSWAT2000 (*ArcView Interface for SWAT2000*). Perhitungan limpasan menggunakan modifikasi rumus rasional,

$$q_{peak} = (\alpha_{tc} \cdot Q)_{surf} \cdot Area / (3,6 \cdot t_{cone}) \dots\dots\dots(1)$$

Erosi menggunakan metode MUSLE,
 $sed = 11.8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area)_{(hru)}^{0.56} \cdot K_{USLE} \cdot C \cdot P \cdot LS \cdot CFRG \dots\dots\dots(2)$

Total sedimen yang terangkut keluar dari sungai tersebut,

$$[sed]_{out} = [sed]_{ch} \cdot V_{out} / V_{ch} \dots\dots\dots(3)$$

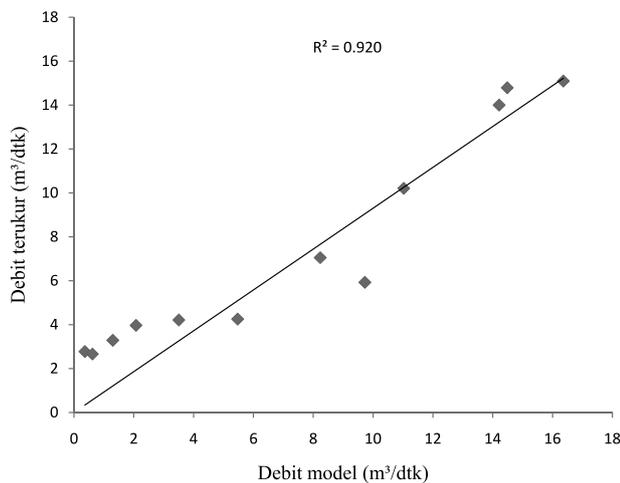
Untuk mengkalibrasi akurasi model AVSWAT2000 di sub DAS Keduang, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap *output* debit model dengan debit terukur, yaitu dengan menggunakan metode koefisien determinasi dan uji-t. Kalibrasi model ini diperlukan jika antara debit model dengan debit terukur setelah dilakukan uji-t hasilnya berbeda nyata, selanjutnya dengan cara coba-coba (*trial and error*) nilai-nilai parameter input. Pengujian ini dihentikan apabila hasil uji-t tidak berbeda nyata.

Setelah tahap kalibrasi selesai, selanjutnya dilakukan skenario penggunaan lahan, sehingga didapatkan nilai limpasan permukaan, erosi, dan sedimentasi saat ini serta hasil setelah dilakukan skenario penggunaan lahan. Kegiatan skenario penggunaan lahan dilakukan dengan cara merubah tingkat bahaya erosi sangat berat dan berat menjadi erosi sedang dan ringan, dengan cara merubah faktor C dan P berdasarkan bentuk pola penggunaan lahan dari BRLKT DAS Bengawan Solo.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kalibrasi Model AVSWAT2000

Berdasarkan hasil *running* SWAT menggunakan parameter input, diperoleh nilai-nilai debit model. Selanjutnya nilai debit DAS Keduang tersebut dibandingkan dengan nilai debit yang terukur sebenarnya untuk memastikan keberlakuan model SWAT dalam memprediksi aliran permukaan, erosi, dan sedimentasi. Setelah melalui proses kalibrasi diperoleh perbandingan antara nilai debit model dengan debit terukur seperti disajikan pada Gambar 1 dengan nilai simpangan sebesar 4,43%.

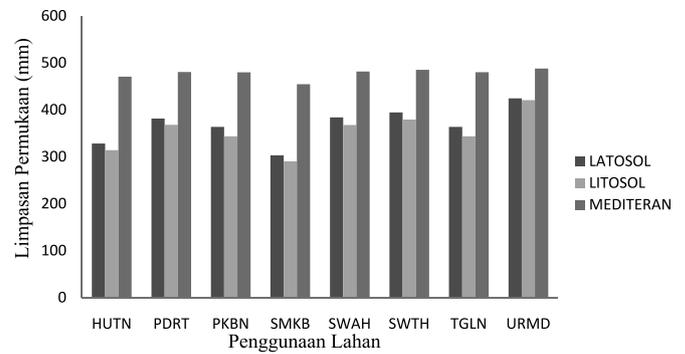


Gambar 1. Hubungan debit model dengan debit terukur (m³/dtk)

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa koefisien determinasi sub DAS Keduang sebesar 0,920. Demikian pula uji t menunjukkan tidak ada perbedaan antara debit model dan debit terukur, sehingga parameter-parameter terukur yang diperoleh selanjutnya dapat diterapkan untuk simulasi atau pemodelan.

Limpasan Permukaan

Besarnya limpasan permukaan diduga menggunakan model AVSWAT2000 yang telah dikalibrasi. Dari hasil penelitian Gambar 2 dapat dijelaskan bahwa, kawasan pemukiman dengan jenis tanah mediteran menghasilkan limpasan permukaan sebesar 487,86 mm. besarnya limpasan permukaan ini disebabkan karena lahan pemukiman memiliki daerah yang terbuka atau tutupan lahannya kurang sehingga menyebabkan limpasan permukaan terjadi lebih besar bila dibandingkan dengan tutupan lahan yang lain seperti lahan hutan, padang rumput, perkebunan, semak, sawah, sawah tadah hujan dan tegalan.



Gambar 2. Grafik besarnya limpasan permukaan rata-rata *Hydrologic Respon Unit* (HRU) DAS Keduang

Keterangan: HUTN = Hutan; PDRT = Padang Rumput; PKBN = Perkebunan; SMKB = Semak Belukar; TGLN = Tegalan; SWTH = Sawah Tadah Hujan; URMD = Pemukiman; SWAH = Sawah

Limpasan permukaan terkecil terjadi pada penggunaan lahan semak dengan jenis tanah litosol sebesar 290,17 mm, hal ini disebabkan karena penggunaan lahan semak memiliki vegetasi yang lebih rapat dibandingkan sawah sehingga penggunaan lahan sawah memiliki nilai limpasan permukaan yang lebih besar jika dibandingkan dengan semak, sedangkan jenis tanah litosol memiliki tekstur tanah beranekaragam, dan pada umumnya berpasir, umumnya tidak berstruktur, terdapat kandungan batu, kerikil dan kesuburannya bervariasi, sehingga terjadi laju infiltrasi yang lebih besar jika dibandingkan tanah mediteran.

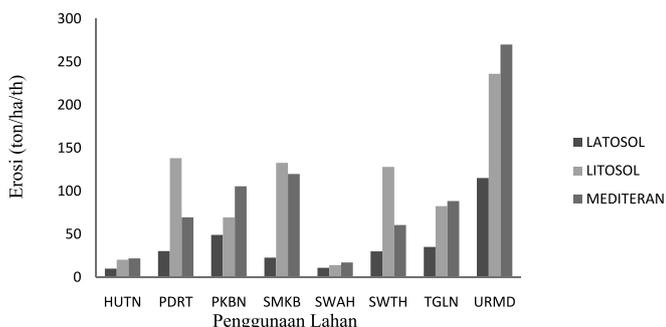
Limpasan permukaan pada penggunaan lahan hutan lebih besar dari penggunaan lahan semak karena apabila kita cermati lebih jauh, pada wilayah das bengawan solo hulu atau pulau jawa pada umumnya, sebagian besar hutan yang ada merupakan hutan tanaman yang menurut fungsi tata guna hutannya merupakan hutan tanaman produksi, hanya sebagian kecil hutan alam (rimba) pada beberapa kawasan konservasi. Hutan tanaman tersebut di dominasi oleh tegakkan jati, pinus dan mahoni. Kondisi tegakan hutan seperti itu jelas akan menurunkan fungsi hidrologinya, karena fungsi tajuk, perakaran dan tumbuhan bawah sebagai penahan butiran hujan menjadi tidak maksimal.

Erosi

Perhitungan erosi yang dihasilkan dari *running* SWAT adalah erosi untuk setiap unit lahan HRU dan erosi untuk setiap sub DAS, dengan periode waktu simulasi selama 10 tahun.

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa erosi terbesar terjadi pada HRU yang digunakan untuk pemukiman pada ketiga jenis tanah, kemudian diikuti dengan semak belukar, padang rumput, perkebunan, tegalan, sawah tadah hujan, sawah, dan hutan secara berurutan. Erosi terbesar terjadi

pada penggunaan lahan pemukiman dengan jenis tanah mediteran sebesar 270,04 ton/ha/th. Erosi terkecil terjadi pada penggunaan lahan hutan dengan jenis tanah latosol pada DAS Keduang sebesar 9,83 ton/ha/th.



Gambar 3. Grafik besarnya erosi rata-rata *Hydrologic Respon Unit* (HRU) DAS Keduang

Keterangan: HUTN = Hutan; PDRT = Padang Rumput; PKBN = Perkebunan; SMKB = Semak Belukar; TGLN = Tegalan; SWTH = Sawah Tadah Hujan; URMD = Pemukiman; SWAH = Sawah

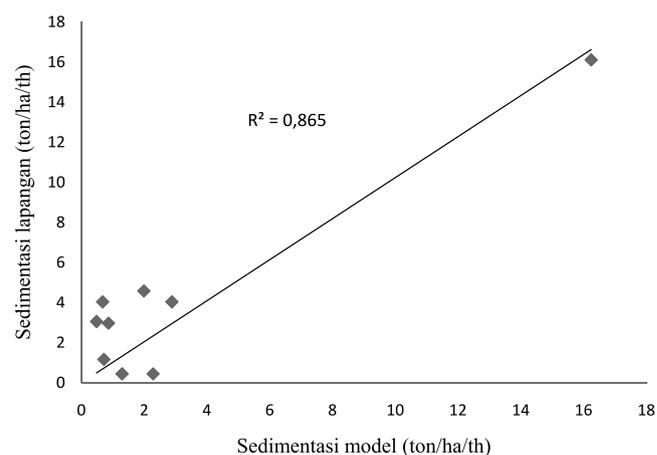
Tingginya erosi pada lahan pemukiman karena penggunaan lahan pemukiman memiliki nilai indeks C dan P terbesar, yaitu 1 yang berarti bahwa erosi aktual yang terjadi sama dengan erosi potensialnya. Sedangkan erosi terkecil terjadi pada HRU yang memiliki bentuk penggunaan lahan hutan pada jenis tanah latosol. Penggunaan lahan oleh hutan memiliki nilai indeks C sebesar 0,001 yang berarti bahwa erosi aktual yang akan terjadi adalah sebesar 0,1% dari erosi potensialnya (Asdak, 2004). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Senawi (2009) diketahui bahwa lahan hutan dan hutan rakyat mampu mengendalikan erosi tanah dan tata air paling baik dibanding bentuk penggunaan lahan yang lain. Begitu juga dengan penelitian yang dilakukan oleh Arief (2000) dengan menggunakan model *ANSWER* dan *AGNPS* bahwa dengan dilakukan penambahan luas hutan 50% akan mengurangi laju erosi hingga 40%.

Sedimentasi

Perkiraan hasil sedimen di DAS Keduang dengan model *SWAT* diperhitungkan dari erosi yang terjadi di unit lahan *HRU*, kemudian erosi yang terjadi di setiap unit lahan *HRU* tersebut akan dibawa oleh limpasan permukaan sampai ke sungai utama sebagai erosi masing-masing sub DAS, dimana sebagian akan terdeposisi di cekungan-cekungan permukaan lahan, besarnya sedimen yang berasal dari erosi tersebut kemudian mengalami proses transportasi sedimen melalui anak sungai (*tributary channel*) sebelum akhirnya sampai ke sungai utama (*main channel*). Dalam proses transportasi sedimen di anak sungai dan sungai utama tersebut besarnya deposisi dan degradasi sedimen di sungai akan diperhitungkan,

kemudian total hasil sedimen di DAS Keduang dihitung pada titik pengamatan di *outlet* sungai.

Nilai koefisien determinasi (R) dan T_{hitung} merupakan ukuran keberlakuan model yang mengarah pada ketepatan atau akurasi model dalam memprediksi nilai keluarannya. Nilai koefisien determinasi pada Gambar 4 adalah 0,865 dan koefisien korelasi sebesar 0,93 dan R tabel adalah 0,6139, sedangkan uji T (T -test), diperoleh nilai $T_{hitung} = 0,65$, nilai ini berada pada daerah penerimaan ($-2,262 < T_{hitung} < 2,262$) untuk uji dua sisi (*two tailed test*) pada taraf signifikansi 5%.



Gambar 4. Hubungan sedimentasi model dengan sedimentasi terukur (ton/ha/th)

Berdasarkan nilai-nilai tolok ukur keberlakuan model hasil kalibrasi model *AVSWAT2000* pada DAS Keduang, menunjukkan bahwa sedimentasi model dapat diterima sebagai sedimentasi yang tidak berbeda nyata dengan sedimentasi terukur, sehingga model dapat digunakan pada DAS Keduang. Gambar 4, terlihat adanya hubungan langsung positif antara sedimentasi model dengan sedimentasi terukur.

Skenario Penggunaan Lahan

Tujuan utama dilakukannya skenario penggunaan lahan pada kondisi saat ini adalah untuk menurunkan besarnya erosi yang terjadi pada unit lahan, terutama pada lahan yang mempunyai tingkat bahaya erosi sangat berat sampai berat. Tingkat Bahaya Erosi (TBE) dapat dihitung dengan cara membandingkan tingkat erosi suatu lahan (land unit) dan kedalaman tanah efektif pada satuan lahan tersebut, kelas TBE ditentukan dengan menggunakan matriks. klasifikasi tingkat bahaya erosi tersebut dinyatakan dengan kelas sangat ringan, kelas ringan, kelas sedang, kelas berat dan kelas sangat berat.

Dengan melakukan perubahan penggunaan lahan tersebut diharapkan nilai faktor pengelolaan tanaman (C) pada lahan yang kritis akan menurun sehingga laju erosi di lahan kritis tersebut juga akan turun. Selain nilai C , faktor lain yang

merupakan faktor penyebab terjadinya erosi adalah nilai faktor pengelolaan dan konservasi tanah (*P*), skenario yang dilakukan terhadap nilai *P* secara umum adalah melakukan perbaikan kondisi teras bangku pada semua lahan yang ada di sub DAS.

Penentuan skenario penggunaan lahan di sub DAS berpedoman pada pola penggunaan lahan dari BRLKT dan analisa tingkat bahaya erosi masing-masing unit lahan *HRU*. Proses analisa untuk menskenario penggunaan lahan Saat ini dilakukan dari peta pola penggunaan lahan di sub DAS beserta data atributnya, skenario yang dilakukan tersebut dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Skenario penggunaan lahan DAS Kedu

Tingkat bahaya erosi	Tata guna lahan saat ini	Kawasan penggunaan lahan	Tata guna lahan modifikasi	Pengelolaan dan konservasi tanah
Sangat berat	Padang rumput	Lindung	Hutan	-
	Sawah tadah hujan	Lindung	Kebun campuran	Penutup tanah rapat
		Penyangga		
	Semak belukar	Lindung	Hutan	-
Penyangga		Kebun campuran	Penutup tanah rapat	
Berat	Padang rumput	Tanaman semusim	Tegal tumpangsari	Perbaikan teras bangku
	Perkebunan/kebun	Lindung	Hutan	-
		Penyangga	Perkebunan	Penutup tanah rapat
		Tanaman tahunan		Penutup tanah rapat
	Sawah tadah hujan	Tanaman semusim	Tegal tumpangsari	Perbaikan teras bangku
	Tegalan/ladang	Lindung	Hutan	-
		Penyangga	Kebun campuran	Penutup tanah rapat
		Tanaman semusim	Tegal tumpangsari	Perbaikan teras gulud
Semak belukar	Lindung	Hutan	-	
	Penyangga	Kebun campuran	Penutup tanah rapat	

Sumber: analisa spasial *ArcView 3.2a*.

Tabel 2. Perbandingan hasil simulasi AVSWAT2000 pada kondisi penggunaan lahan saat ini dan skenario DAS Keduang

Perbandingan	Penggunaan lahan		Persentase Penurunan
	Saat ini	Skenario	
Limpasan permukaan (mm)	424,09	412,61	2,71
Erosi (ton/ha/thn)	87,87	36,78	58,14
Sedimentasi (ton/thn)	375,07	353,60	5,72

Sumber: hasil analisis

Perbandingan Hasil Model dengan Skenario Perubahan Penggunaan Lahan

Dengan melakukan skenario perubahan penggunaan lahan saat ini menjadi kondisi penggunaan lahan skenario sesuai dengan pola penggunaan lahan dan kondisi lahan kritisnya, akan terjadi penurunan erosi, limpasan permukaan, dan penurunan sedimentasi di sungai, besarnya penurunan tersebut berturut-turut adalah 2,71%, 58,14% dan 5,72% (Tabel 2), begitu juga dengan lahan kritis terjadi penurunan 5,22% pada erosi sangat berat dan erosi berat sebesar 59,05% dan terjadi kenaikan lahan tidak kritis sebesar 63,88% pada erosi sedang dan 68,27% pada erosi ringan (Tabel 3).

Tabel 3. Penurunan dan kenaikan luas lahan kritis DAS Keduang

Kelas TBE	TBE	Luas (Ha) Penggunaan lahan		Persentase Penurunan Lahan Kritis	Persentase Kenaikan Lahan Tidak Kritis
		Saat ini	Skenario		
I	Sangat Ringan	169,30	169,30	-	-
II	Ringan	5.775,00	9.833,40	-	68,27
III	Sedang	8.276,30	13.563,50	-	63,88
IV	Berat	15.181,50	6.216,60	59,05	-
V	Sangat Berat	7.297,00	6.916,30	5,22	-
TOTAL		36.574,30	36.574,30		

Sumber: hasil analisis

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian model dilakukan dengan cara membandingkan debit model dengan debit terukur, diuji secara statistik menggunakan uji berpasangan dan uji koefisien determinasi, hasil pengujian menunjukkan bahwa debit model tidak berbeda dengan debit terukur, sehingga model ini bisa digunakan pada DAS Keduang.
2. Besarnya limpasan Permukaan terbesar terjadi pada penggunaan lahan pemukiman dengan jenis tanah mediteran pada DAS Keduang sebesar 487,86 mm. Erosi terbesar di DAS Keduang diperoleh pada penggunaan lahan pemukiman dengan jenis tanah mediteran sebesar 270,04 ton/ha/th. Limpasan permukaan terkecil terjadi pada penggunaan lahan semak dengan jenis tanah latosol pada DAS Keduang sebesar 290,17 mm. Erosi terkecil terjadi pada penggunaan lahan hutan dengan jenis tanah latosol pada DAS Keduang sebesar 9,83 ton/ha/th.
3. Besarnya limpasan permukaan, erosi dan sedimentasi di sub DAS Keduang pada kondisi saat ini masing-masing sebesar 424,09 mm, 87,87 ton/ha/th, dan 375,07 ton/th. Setelah dilakukan skenario penggunaan lahan jumlah limpasan permukaan, erosi dan sedimentasi mengalami penurunan, di sub DAS Keduang laju limpasan permukaan, erosi dan sedimentasi menurun masing-masing menjadi 412,61 mm, 36,78 ton/ha/th, dan 353,60 ton/th.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, E. (2000). *Aplikasi Models Answers dan AGNPS untuk Memprediksi Aliran Permukaan, Erosi, dan Sedimentasi di DAS Bengawan Solo Hulu*. Tesis. Program Pasca Sarjana. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Asdak, C. (2004). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Edisi Revisi*. Cetakan ketiga. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Dharmawati, N.D. (2001). *Aplikasi Model Bilangan Kurva (Curve Number)-SCS untuk Memprediksi Limpasan Permukaan*. Tesis. Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Jha, R and Mishra, B.K. (2007). Impact of land-use on runoff using RS and GIS: the case of the Bagmati River, Nepal. *Methodology in hydrology*. (Proceedings of The Second International Symposium on Methodology in hydrology Held in Nanjing, China, October-November 2005). IAHS Publ. 311. 2007: 480-484.
- Neitsch, S.L. Arnold, J.G. Kiniry, J.R. and K.W. King. Williams, J.R. (2002). *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation version 2000*. Grassland, Soil and Water Research Laboratory. Agricultural Research Service. Temple, Texas. Blackland Research Center. Texas Agricultural Experiment Station. Temple, Texas. Published 2002 by Texas Water Resources Institute, College Station, Texas.
- Purwanto, B.P. (2008). *Studi Konservasi Daerah Aliran Sungai (DAS) untuk Pengendalian Pencemaran Kualitas Air (Studi Kasus di Waduk Selorejo, Malang, Jawa Timur, Indonesia)*. Tesis. Program Studi Teknik Sipil. Minat Teknik Sumber Daya Air. Pasca Sarjana Universitas Brawijaya, Malang.
- Schwab, G.O, Huffman, R.L, Workman, S.R, Elliot, W.J and Fangmeier, D.D. (2006). *Soil and Water Conservation Engineering*. Fifth Edition. Clifton Park, New York.
- Senawi (2009). Nilai Penting Hutan untuk Pengendalian Erosi Tanah dan Rehabilitasi Lahan pada Bentanglahan Vulkan. *Prosiding Simposium Nasional Sains Geoinformasi-I (17-18 November 2009)*. PUSPICS. Fakultas Geografi. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Soeprtohardjo, M. (1980). *Jenis-jenis Tanah di Indonesia*. Seksi Ilmu Tanah dan Pupuk. Fakultas Pertanian UPN Veteran, Yogyakarta.
- Stehr, A. Debels, P. Romero, F. Alcayaga, H. (2008). Hydrological modelling with SWAT under conditions of limited data availability: evaluation of result from a Chilean case study. *Hydrological Sciences Journal* 53(3). IAHS. 589-601.
- Suhartanto, E. (2008). *Panduan AVSWAT 2000 dan Aplikasinya di Bidang Teknik Sumberdaya Air*. Penerbit C.V. Asrori, Malang.
- Surgawa, I.K.F. (2004). *Analisa Tingkat Kekritisan DAS di Sub DPS Bango dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografi*. Skripsi. Jurusan Pengairan. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya, Malang.