

LENTERA

JURNAL ILMIAH SAINS DAN TEKNOLOGI

Metoda Analisis Kebutuhan Air Dalam Mengembangkan Sumberdaya Air Cut Azizah	1
Permodelan Dalam Perencanaan Konservasi Tanah dan Air Halus Satriawan	10
Perbandingan Prestasi Siswa Antara Pembelajaran Problem Solving Dengan Metode Konvensional Pada Dalil Phytagoras Terhadap Siswa Kelas VIII SMP Negeri 1 Peusangan Selatan Kabupaten Bireuen Marzuki	19
Analisis Faktor Profesionalisme Aparatur Sekretariat Daerah Kabupaten Aceh Besar (Studi Pada Faktor Kemampuan Dan Performansi) Rahmad	27
Sistem Kupon Pelayanan Kesehatan Ibu Peserta Jamkesmas dan Kepuasan Kerja Bidan Desa di Kabupaten Bireuen-Aceh Nurhidayati	37
Keberadaan Lembaga Dewan Perwakilan Daerah Berdasarkan Undang-Undang Negara Republik Indonesia Tahun 1945 Taufik Jahidin	45
Penelitian Variasi Genetik Pada Genotip Padi Modern Malaysia (MR) Menggunakan Teknik <i>Amplified Fragment Length Polymorphism</i> (AFLP) Jaswar, Mohamad bin Osman	55
Penerapan Teknologi Web Service Untuk Integrasi Layanan Puskesmas dan Rumah Sakit Rokhmat Hidayat	62
Intensitas Infeksi <i>Soil Transmitted Helminths</i> Pada Murid SDN Pertiwi Lamgarot Kecamatan Ingin Jaya Kabupaten Aceh Besar Khairun Nisa, Rahmayanti, Farah Fajarna	69
Etika Moral dan Ahlak Al Mawardi	78
Sistem Pengingat Ujian Mahasiswa Berbasis SMS Dengan Menggunakan Java J2SE Mutammimul Ula	84
Pemanfaatan Bluetooth Sebagai Media Komunikasi Riyadhul Fajri	94
Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Penerima Beasiswa PPA Menggunakan Metode Simple Addictive Weighting (SAW) dan Entropy Pada Fakultas Ilmu Komputer Universitas Almuslim Zara Yunizar	102
Sejarah Pendidikan Islam pada Awal Kemerdekaan Indonesia Zahriyanti Zubir, Khairunnisak	111
Kontribusi Dayah Darul Iman Dalam Pemberantasan Buta Huruf Al-Qur'an Di Blang Cot Tunong Muhammad Iqbal, Muhammad Rizal	116

PERMODELAN DALAM PERENCANAAN KONSERVASI TANAH DAN AIR

Halus Satriawan

Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Almuslim

ABSTRAK

Salah satu alat bantu yang dapat digunakan dalam perencanaan penggunaan lahan adalah model prediksi erosi. Penggunaan model-model erosi telah banyak digunakan di berbagai negara termasuk Indonesia, namun demikian pengembangan model-model erosi dan input parameternya yang sesuai untuk kondisi negara tropis seperti Indonesia belum banyak dilakukan. Ada dua macam model penduga erosi yang sekarang ini banyak dipakai yakni model berbasis empirik (*empirically based model*) dan model berbasis proses (*process based model*).

Kata Kunci: Erosi, Permodelan, Konservasi Tanah dan Air

I. PENDAHULUAN

Erosi yang dipercepat (*accelerated erosion*) timbul sejak manusia mengenal budidaya pertanian. Erosi menjadi masalah sejak pengelolaan lahan dilakukan secara lebih intensif, sehubungan dengan peningkatan kebutuhan sandang, pangan, papan dan lainnya sejalan dengan pesatnya pertumbuhan jumlah penduduk. Sejak beberapa dekade yang lalu erosi diakui secara luas sebagai suatu permasalahan global yang serius.

United Nations Environmental Program dalam Lal (1994) menyatakan bahwa produktivitas lahan seluas ± 20 juta ha setiap tahun mengalami penurunan ke tingkat nol atau menjadi tidak ekonomis lagi disebabkan oleh erosi atau degradasi yang disebabkan oleh erosi. Penurunan produktivitas lahan dimana erosi terjadi baru merupakan *on-site effect* dari erosi, belum termasuk kerugian yang disebabkan oleh *off-site effect* dari erosi seperti sedimentasi sungai, waduk, jaringan irigasi dan berbagai kerusakan lainnya. Sebagai gambaran, di dua wilayah DAS di Indonesia kerusakan akibat erosi jika dihitung secara nominal untuk kerusakan yang bersifat *on-site* dan *off-site* di DAS Citanduy Jawa Barat berkisar antara Rp. 88 milyar – Rp. 268 milyar (Yunus, 2005), dan di DAS Tulang Bawang Lampung mencapai Rp. 97,6 milyar (Sihite, 2001). Jika diperhitungkan untuk seluruh wilayah DAS

di Indonesia, kerugian yang diakibatkan oleh erosi akan jauh lebih besar dari angka tersebut di atas.

Dengan besarnya resiko yang bakal terjadi, maka pencegahan erosi merupakan aspek yang tidak boleh dilupakan dalam pengelolaan lahan, baik untuk pertanian maupun penggunaan lainnya. Pencegahan erosi yakni tindakan konservasi tanah sudah harus diperhitungkan sejak perencanaan penggunaan lahan dilakukan. Untuk selanjutnya evaluasi dari aplikasi suatu teknik konservasi juga perlu dilakukan agar dapat diyakini apakah sistem pengelolaan lahan yang diterapkan sudah memadai untuk terwujudnya sistem pengelolaan lahan secara berkelanjutan.

Sangat disadari oleh berbagai pihak bahwa mencegah erosi sampai batas nol (tanpa erosi) pada lahan yang dikelola adalah sangat sulit dilakukan. Oleh karena itu, disepakati bahwa minimal erosi yang terjadi dapat ditekan sampai di bawah ambang batas yang diperbolehkan. Namun demikian, sering timbul permasalahan baik bagi pihak perencana, pelaksana, dan evaluator untuk menentukan apakah suatu sistem penggunaan lahan dinilai sudah aman dari segi pencegahan bahaya erosi. Besarnya erosi dan pengaruh suatu teknik konservasi tanah terhadap erosi dan aliran permukaan dapat dievaluasi dengan melakukan pengukuran secara langsung di lapangan atau dengan memprediksinya yaitu dengan

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 alternatif. Paper ini menguraikan peran permodelan dalam perencanaan konservasi tanah, berbagai kendala yang dihadapi dalam penggunaan permodelan di Indonesia, dan bentuk-bentuk permodelan yang berpeluang untuk terus dikembangkan.

II. MODEL PENDUGAAN EROSI

Salah satu alat bantu yang dapat digunakan dalam perencanaan penggunaan lahan adalah model prediksi erosi. Secara ideal, metode prediksi erosi harus memenuhi persyaratan-persyaratan, seperti: 1) dapat diandalkan, 2) secara universal dapat dipergunakan, 3) mudah digunakan dengan data yang minimum, 4) komprehensif dalam hal faktor yang digunakan, 5) mempunyai kemampuan untuk mengikuti perubahan tata guna lahan dan tindakan konservasi tanah (Arsyad, 2010).

Haan (1989) mendefinisikan model sebagai “kumpulan hukum-hukum fisik dan atau pengamatan empirik yang ditulis dalam bentuk persamaan-persamaan matematik dan dikombinasikan sedemikian rupa untuk menghasilkan sekumpulan hasil berdasarkan pada sekumpulan kondisi yang sudah diketahui atau diasumsikan. Hubungan dengan erosi tanah, permodelan merupakan penggambaran secara matematik proses-proses penghancuran, transport, dan deposisi partikel tanah di atas permukaan lahan (Nearing *et al.*, 1994). Ada dua macam model penduga erosi yang sekarang ini banyak dipakai yakni model berbasis empirik (*empirically based model*) dan model berbasis proses (*process based model*).

Model berbasis empirik menghubungkan langsung keluaran dari model (*output*) dengan *input* (misalnya penggunaan lahan, luas, dan lereng) dengan menggunakan model-model statistik. Model berbasis empirik umumnya membutuhkan lebih sedikit input dan perhitungan yang

lebih sederhana dibanding model berbasis proses (ICRAF, 2001; Schmitz dan Tameling, 2000). Umumnya model berbasis empirik ini memprediksi rata-rata tahunan aliran permukaan dan erosi berdasarkan prediksi jangka panjang. Model ini tidak mempertimbangkan distribusi spasial dari input parameter dan interaksinya yang akan mempengaruhi output.

Model berbasis proses atau sering dikenal dengan model fisik merupakan suatu model yang berhubungan dengan hukum kekekalan massa dan energi. Persamaan diferensial atau dikenal sebagai persamaan kontinuitas digunakan dan diaplikasikan untuk erosi tanah pada satu segmen tanah pada lahan yang berlereng. Model fisik ditujukan untuk dapat menjelaskan proses erosi dengan menggunakan persamaan fisika, namun demikian persamaan empiris kadang-kadang masih digunakan di dalamnya (ICRAF, 2001). Persamaan yang digunakan pada model fisik ini tergolong sulit dan mengandung parameter-parameter yang kadang-kadang sukar untuk diukur. Namun demikian, model fisik mempunyai kemungkinan untuk memperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan model empiris (Schmitz dan Tameling, 2000), karena model fisik merupakan permodelan proses-proses erosi, sehingga pengguna dapat memahami lebih baik proses-proses erosi yang terjadi dan dampak dari terjadinya proses tersebut.

Paling tidak terdapat tiga alasan dilakukannya pemodelan erosi, yaitu: (a) model erosi dapat digunakan sebagai alat prediksi untuk menilai/menaksir kehilangan tanah yang berguna untuk perencanaan konservasi tanah (*soil conservation planning*), perencanaan proyek (*project planning*), inventarisasi erosi tanah, dan untuk dasar pembuatan peraturan (*regulation*); (b) model-model matematik yang didasarkan pada proses fisik (*physically-based mathematical models*) dapat memprediksi erosi dimana dan kapan erosi terjadi, sehingga dapat membantu para perencana konservasi tanah dalam menentukan targetnya untuk menurunkan erosi; dan (c) model dapat dijadikan sebagai alat untuk memahami proses-proses erosi

dan interaksinya, dan untuk penetapan prioritas penelitian.

III. MODEL PENDUGAAN EROSI UNTUK PERENCANAAN KONSERVASI TANAH

Generasi awal dari model penduga erosi dikembangkan pada tahun 1940-an dengan menggunakan parameter panjang dan kemiringan lahan (Zing, 1940). Smith (1941) dan Browning *et al.* (1947 dalam Wischmeier and Smith, 1976) kemudian memperbaiki model ini dengan menambahkan parameter tanaman dan teknik konservasi tanah, Musgrave (1947 dalam Wischmeier and Smith (1976) juga menambahkan parameter tanah dan hujan. Wischmeier and Smith (1976, 1978) mengembangkan *Universal Soil Loss Equation* (USLE) yang memprediksi erosi tanah berdasarkan pada 6 faktor yaitu erosivitas hujan, erodibilitas tanah, panjang lereng, kemiringan lahan, penutupan tanah/*land use*, dan sistem pengelolaan lahan. Selanjutnya paling tidak selama empat dekade terakhir, berkembang beberapa model *empiris* lainnya, misalnya RUSLE, MUSLE (*modified universal soil loss equation*) yang berpatokan pada konsep USLE.

Beberapa model fisik dikembangkan setelah generasi USLE, salah satu di antaranya adalah model fisik GUEST (*griffith university erosion system template*) (Rose *et al.*, 1997). Beberapa model erosi untuk DAS yang berkaitan dengan hidrologi yang juga berdasarkan pada konsep USLE adalah ANSWERS (*areal non-point sources watershed environment response simulation*) yang selanjutnya diperbaiki dengan model AGNPS atau *agricultural non-point source pollution model* (Sinukaban, 1997). Selain model-model yang telah disebutkan, masih banyak model-model lainnya yang berkembang di berbagai negara misalnya *Chemical, Run-off, and Erosion from Agricultural Management System*/CREAMS, *Soil and Water Assessment Tool* /SWAT, *Water Erosion Prediction Project*/WEPP, dan lain sebagainya.

3.1. Model USLE

Model USLE sebenarnya relatif memenuhi persyaratan suatu model dan cukup komprehensif dalam hal faktor-faktor yang digunakan yakni menggunakan 6 faktor erosi dalam proses perhitungan. Model ini juga cukup mempunyai kemampuan untuk mengikuti perubahan tata guna lahan dan tindakan konservasi, di antaranya karena berbagai percobaan untuk mendapatkan nilai faktor C (*crop*) dan P (pengelolaan) telah banyak dilakukan di Indonesia, sehingga model ini dapat diaplikasikan dalam kondisi yang relatif sesuai. Parameter metoda USLE ini secara matematika adalah:

$$A = R K L S C P$$

Keterangan :

A= banyaknya tanah yang tererosi (ton/ha/th)

R= faktor indeks (erosivitas) hujan

K= faktor erodibilitas tanah

L= faktor panjang lereng

S= faktor kecuraman lereng

C= faktor vegetasi penutup tanah dan pengelolaan tanaman

P= faktor tindakan-tindakan khusus konservasi tanah

Penetapan nilai faktor-faktor dalam model USLE dapat dihitung dengan menggunakan rumus-rumus atau hasil penelitian yang sudah ada:

Faktor Erosivitas hujan (R)

Energi Kinetis hujan, dalam USLE dihitung dengan rumus : $E = 210 + 89 \log I$. Di Indonesia data hujan harian untuk menghitung EI30 belum banyak tersedia sehingga biasanya menggunakan rumus EI30 yang dikembangkan oleh Bols (1978) diacu dalam Arsyad (2010). Menurut Bols (1978) diacu dalam Arsyad (2010), faktor erosivitas hujan (R) merupakan penjumlahan nilai-nilai indeks erosi hujan bulanan dan dihitung berdasarkan persamaan :

$$EI30 = 6,119 (\text{Rain})^{1,21} (\text{Days})^{-0,47} (\text{Maxp})^{0,53}$$

Keterangan :

EI30 = indeks erosi hujan bulanan

Rain = curah hujan rata-rata bulanan (cm)

Days = jumlah hari hujan rata-rata per bulan
 Maxp = curah hujan maksimum selama 24 jam dalam bulan bersangkutan (cm)

Faktor Erodibilitas Tanah (K)

Erodibilitas tanah (kepekaan erosi tanah), yaitu erosi per indeks erosi hujan untuk suatu tanah dalam keadaan standar. Kepekaan erosi tanah ini sangat dipengaruhi oleh tekstur, kandungan bahan organik, permeabilitas dan kemantapan struktur tanah. Nilai erodibilitas tanah dihitung dengan menggunakan rumus Wischmeier dan Smith (1978) :

$$100K = \{1,292 (2,1 M^{1,44} (10^{-4})(12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3))\}$$

Keterangan :

- K = erodibilitas tanah
- M = kelas tekstur tanah (% pasir halus + % debu)(100 - % liat)
- a = % bahan organik
- b = kode struktur tanah
- c = kode permeabilitas profil tanah

Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Faktor panjang lereng, yaitu nisbah antara besarnya erosi pada panjang lereng tertentu dengan erosi tanah dengan panjang lereng 22 m dan dalam keadaan identik. Sedangkan faktor kemiringan lereng, yaitu nisbah antara besarnya erosi tanah pada kelereng tertentu dengan erosi tanah pada kelereng 9% dengan keadaan identik. Faktor panjang dan kemiringan lereng juga bisa dihitung secara langsung (digabung) menurut rumus (Wischmeier dan Smith 1978):

$$LS = \sqrt{X(0,0138 + 0,0096S + 0,00138S^2)}$$

Keterangan : X = panjang lereng (m) dan S = kecuraman lereng (%)

Faktor Tanaman dan Pengelolaannya (C)

Penentuan faktor C untuk berbagai jenis tanaman dilakukan dengan membandingkan erosi yang terjadi pada plot standar dengan erosi yang terjadi pada plot dengan tanaman tertentu.

Faktor Tindakan Konservasi (P)

Penentuan faktor tindakan konservasi tanah dan air (P) dilakukan dengan membandingkan erosi yang terjadi pada plot standar dengan erosi yang terjadi pada plot dengan teknik konservasi tertentu.

Namun demikian, banyak yang berpendapat bahwa hasil prediksi dari model USLE kurang akurat yakni seringkali terlalu *overestimate*. Salah satu faktor yang seringkali kurang disadari oleh para pengguna model ini adalah berhubungan dengan skala penggunaan, misalnya menggunakan USLE untuk memprediksi erosi pada skala DAS. Tarigan dan Sinukaban (2001) menyatakan bahwa USLE berfungsi baik untuk skala plot, sedangkan untuk skala DAS dapat menjadi *over estimate*, salah satunya karena faktor filter sedimen tidak terakomodasi, namun USLE bermanfaat dalam hubungannya dengan *on-site effect* dari erosi. Dengan demikian USLE masih tergolong layak digunakan untuk perencanaan teknik konservasi untuk skala usahatani dimana *on-site effect* dari erosi menjadi pertimbangan utama.

3.2. Model Pengembangan USLE

Untuk perencanaan konservasi tanah pada skala yang lebih luas, akan lebih realistis jika digunakan model-model yang merupakan pengembangan dari USLE, sehingga data-data dari faktor erosi seperti faktor C dan P masih bisa dimanfaatkan, karena jika harus dimulai dengan pengumpulan data baru akan dibutuhkan waktu yang tidak singkat. Beberapa contoh model erosi untuk skala DAS yang merupakan pengembangan dari model USLE adalah SLEMSA, CALSITE, RUSLE, dan WEPP. Menurut Elwell dalam Dickinson dan Collin (1998), SLEMSA (Soil Loss EstiMator for Southern Africa) menggunakan parameter yang sama dengan model USLE tetapi telah dimodifikasi dan diadaptasikan dengan kondisi daerah dan iklim di Zimbabwe (Afrika Selatan) khususnya pada suatu bentang lahan di dataran tinggi.

Selanjutnya dilaporkan bahwa meskipun pendekatan model ini sudah lebih maju dari model USLE tetapi sangat spesifik lokasi sehingga belum dapat digunakan di daerah lain yang berbeda

kondisinya. CALSITE (CALibrated SIMulation of Transported Erosion) merupakan model kombinasi dari USLE dan SLEMSA (Dickinson and Collin, 1998). Parameter model sama dengan USLE yaitu R (faktor erosivitas hujan), K (faktor erodibilitas tanah), CP (faktor jenis tanaman penutup tanah dan tindakan konservasi tanah), dan LS (faktor panjang dan kemiringan lereng). Model ini telah digunakan dan dimodifikasi di negara Asia Tenggara, seperti Thailand dan Filipina, untuk perencanaan pengelolaan kawasan yang luas (*catchment area*). Model CALSITE dapat menentukan dan mengidentifikasi erosi tanah dan hasil sedimen (*sediment yield*) yang terjadi dalam suatu kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS) dengan mengikuti arah aliran ke bawah yang bermuara ke suatu "outlet" DAS.

3.3. Model WEPP

Model WEPP untuk DAS adalah sebuah program simulasi komputer kontinyu yang memprediksi hasil sedimen dan sedimentasi dari aliran di permukaan tanah pada lahan yang berlereng, hasil sedimen dan sedimentasi dari aliran yang terkonsentrasi dalam saluran yang kecil, dan sedimentasi pada outlet. Model WEPP menghitung distribusi spasial dan temporal (waktu) sedimentasi dan hasil sedimen, dan menyediakan perkiraan secara tepat kapan dan dimana terjadinya erosi di dalam DAS atau pada lahan yang berlereng, dengan demikian dapat dipilih perhitungan konservasi untuk mendapatkan pengendalian erosi yang efektif (Flanagan and Nearing, 1995).

Aliran permukaan disimulasikan sebagai komponen hidrologi didasarkan pada perhitungan kesetimbangan air, yang bertanggungjawab terhadap proses-proses seperti presipitasi, evapotranspirasi, aliran permukaan, pengisian kembali dan simpanan air tanah. Kegunaan utama komponen hidrologi permukaan pada WEPP adalah untuk menyediakan komponen erosi dengan jangka waktu kelebihan curah hujan, intensitas hujan selama periode kelebihan hujan, volume aliran permukaan dan rata-rata laju puncak. Pada model WEPP, urutan perhitungan

yang berkaitan dengan hidrologi permukaan adalah infiltrasi, kelebihan curah hujan, simpanan depresi dan puncak aliran. Aliran permukaan dihitung menggunakan persamaan gelombang kinematik dan perkiraan terhadap larutan kinematik. Infiltrasi dihitung menggunakan model Green-Ampt Mein Larson (GAML) untuk curah hujan yang berubah-ubah (unsteady):

$$f_{inf,t} = Ke \left(1 + \frac{\Psi_{wf} \Delta\theta_v}{F_{inf,t}} \right)$$

Dimana $f_{inf,t}$ adalah laju infiltrasi pada waktu t (mm/jam), Ke adalah konduktivitas hidrolis efektif (mm/jam), Ψ_{wf} potensial matrik pembasahan (mm), $\Delta\theta_v$ adalah perubahan dalam kadar kelembaban volumetrik pembasahan, dan $F_{inf,t}$ adalah infiltrasi kumulatif pada waktu t (mm).

Laju kelebihan hujan adalah ditetapkan terjadi hanya ketika laju curah hujan melebihi laju infiltrasi. Volume kelebihan hujan dikurangi menjadi simpanan storage dan aliran permukaan diasumsikan mulai terjadi jika simpanan depresi telah terpenuhi. Untuk kejadian aliran permukaan yang menghasilkan hidrograf kesetimbangan parsial, volume kelebihan hujan dikurangi menjadi jumlah air terinfiltrasi.

Laju puncak aliran pada saluran sub-DAS atau outlet DAS dihitung dengan dua metode, tergantung pada apakah model dijalankan secara kontinyu atau mode single-storm, dan jika ada beberapa overland flow. Metode tersebut adalah: 1) persamaan yang digunakan dalam chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems (CREAMS); 2) versi modifikasi persamaan rasional, sama dengan yang digunakan dalam model EPIC.

Hasil sedimen DAS dihitung dari wilayah lereng bukit dan saluran. Hasil sedimen merupakan hasil penghancuran agregat, transportasi dan pengendapan sedimen. Pergerakan sedimen tersuspensi pada wilayah alur, antar alur dan saluran didasarkan pada model erosi dalam keadaan tunak (steady) yang diselesaikan dengan persamaan kontinuitas sedimen pada saat

laju puncak. Persamaan kontinuitas sedimen pada keadaan tunak (steady) digambarkan sebagai:

$$\frac{dG}{dx} = Df + Di$$

Dimana G adalah pelepasan sedimen (kg/dtk/m), x menunjukkan panjang lereng (m), Df adalah laju erosi riil (kg/dtk/m²) dan Di adalah pengiriman sedimen inter riil – riil (kg/dtk/m²). D dianggap sebagai independen dari x dan selalu bernilai >0, Df >0 untuk proses penghancuran agregat dan <0 untuk proses pengendapan.

Untuk perhitungan model, Df dan Di dihitung pada tiap unit erosi riil berbasis wilayah, sehingga G diselesaikan pada setiap unit riil berbasis luasan. Setelah dihitung, hasil sedimen menyatakan hasil sedimen per unit lahan.

3.4. Model SWAT

Selain model yang disebut diatas, model SWAT juga layak digunakan untuk memprediksi erosi dan aliran permukaan untuk praktik konservasi tanah dan air. SWAT dikembangkan untuk memprediksi dampak praktik pengelolaan lahan terhadap air, sedimen dan bahan kimia pertanian dalam DAS yang besar dan kompleks dengan bermacam-macam jenis tanah, penggunaan lahan dan kondisi pengelolaan dalam periode yang lama (Neitsch et al., 2005). Model ini menjadi alat yang efektif untuk mengevaluasi isu-isu sumberdaya air dalam

variasi besar aplikasi kualitas air di tingkat nasional dan internasional.

Model SWAT menghadirkan heterogenitas spasial dalam skala besar pada wilayah studi dengan pembagian DAS ke dalam sub-DAS, yang pembatasannya didasarkan atas prosedur otomatis menggunakan data Digital Elevation Model (DEM). Tiap sub-DAS diparameterkan menggunakan seri unit respon hidrologi (HRUs). Satu unit respon hidrologi adalah kombinasi penggunaan lahan tertentu, jenis tanah dan batasan kemiringan lereng. Pembagian DAS ke dalam penggunaan lahan, dan kombinasi lereng dan tanah memungkinkan model untuk merefleksikan adanya perbedaan pada evapotranspirasi dan kondisi hidrologi lainnya untuk beberapa jenis tanaman dan tanah. Dengan model SWAT, aliran permukaan diprediksi secara terpisah untuk masing-masing HRU dan disalurkan untuk memperoleh total aliran permukaan DAS. Peningkatan ketelitian ini memberikan penjelasan fisik yang lebih baik terhadap kesetimbangan air. Kadar air tanah, aliran permukaan, siklus unsur hara, hasil sedimen, pertumbuhan tanaman dan praktik pengelolaan disimulasikan untuk masing-masing HRU, dan kemudian diagregatkan/diakumulasikan untuk sub-DAS melalui pembobotan rata-rata. Penggolongan berbagai parameter yang didasarkan atas HRUs ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Penggolongan berbagai parameter berdasarkan HRUs pada model SWAT

Jenis Input	Fungsi	Contoh Parameter	Arti Parameter
.sol	File masukan tanah; menggambarkan sifat fisik pada setiap lapisan tanah	SOL_AWC	Kapasitas air tersedia pada lapisan tanah
		SOL_K	Konduktivitas hidrolik jenuh
		USLE_K	Faktor perhitungan erodibilitas tanah USLE
.gw	File masukan air tanah; menggambarkan kekuatan yang mengatur pergerakan air ke dalam dan ke luar akuifer	ALPHA_BF	Faktor base flow alpha
		GWQMN	Ambang kedalaman air dalam akuifer dangkal yang diperlukan untuk terjadinya aliran pengembalian

		GW_REVAP	Koefisien air tanah "revap"
.mgt	File masukan ringkasan pengelolaan unit respon hidrologi (HRU), perincian tentang praktek pengelolaan tanah dan air	BIOMIX	Efisiensi faktor biologi
		CN2	Nilai Curve Number SCS II
		USLE_P	Faktor pengelolaan USLE
.hru	File masukan HRU secara umum, berisi informasi yang berhubungan dengan keanekaragaman corak dalam HRU	CANMX	Simpanan kanopi maksimum
		ESCO	Faktor kompensasi evaporasi tanah
		EPCO	Faktor kompensasi pengambilan oleh tanaman

Dalam model SWAT, volume aliran permukaan diprediksi dari hujan harian menggunakan persamaan soil conservation service (SCS) curve number (CN) (Williams and LaSeur, 1976):

$$Q_{Surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)}$$

Dimana Q_{surf} adalah akumulasi aliran permukaan atau ketebalan hujan (mm), R_{day} adalah kedalaman hujan dalam satu hari (mm), I_a adalah abstraksi awal, yang mana termasuk simpanan permukaan, intersepsi dan infiltrasi sebelum terjadinya aliran permukaan (mm), dan S adalah parameter retensi/penyimpanan (mm) yang bervariasi untuk setiap sub DAS menurut jenis tanah, penggunaan lahan, pengelolaan lahan dan kemiringan lereng.

Laju puncak aliran permukaan dalam model SWAT dihitung menggunakan rumus rasional yang dimodifikasi. Aliran diarahkan melalui saluran menggunakan variable koefisien simpanan yang dikembangkan oleh Williams (1969), atau dengan metode routing Muskingum. Waktu

$$Sed = 11,8 \left(Q_{surf} * q_{peak} * A_{hru} \right)^{0,56} K_{USLE} C_{USLE} P_{USLE} L_{USLE} F_{cfrg}$$

Dimana Sed adalah hasil sedimen (ton) yang dihasilkan setiap hari, Q_{surf} adalah volume aliran permukaan (mm/ha), q_{peak} adalah laju puncak aliran permukaan ($m^3/detik$). A_{hru} adalah area unit respon hidrologi (ha), K_{USLE} adalah faktor erodibilitas tanah USLE, C_{USLE} adalah faktor

konsentrasi DAS dihitung dengan menggunakan rumus Manning's dengan mempertimbangkan aliran permukaan dan saluran.

Dalam model SWAT, erosi dan hasil sedimen dihitung untuk setiap unit respon hidrologi (HRU) dengan MUSLE (Williams, 1975), dibandingkan dengan USLE, model SWAT mempunyai tingkat akurasi yang lebih tinggi. Tidak diperlukan rasio pelepasan, dan hasil sedimen pada kejadian hujan tunggal bisa dihitung. Model hidrologi menyumbang perhitungan volume aliran permukaan dan laju puncak aliran permukaan sub DAS, digunakan untuk menghitung variabel energi erosivitas oleh aliran permukaan. Faktor pengelolaan dihitung kembali setiap hari dimana terjadi aliran permukaan. Faktor ini merupakan fungsi biomassa di atas permukaan tanah, residu tanaman di permukaan tanah dan tutupan lahan minimum serta faktor manajemen untuk tanaman. Faktor-faktor lain untuk persamaan erosi dijelaskan sebagai:

pengelolaan tanaman USLE, P_{USLE} adalah faktor tindakan konservasi USLE, L_{USLE} adalah faktor kemiringan lereng, dan F_{cfrg} adalah faktor fragmen kasar.

Transport sedimen di dalam saluran dikontrol melalui dua proses yang

bersamaan, yaitu pengendapan dan penghancuran. Jumlah maksimal sedimen yang bias diangkut dari setiap segmen adalah fungsi dari puncak velocity saluran. Kekuatan aliran digunakan untuk menarik kembali material yang hilang dan diendapkan sampai semua material dipindahkan. Kekuatan aliran yang berlebih menyebabkan kerusakan yang parah, yang disesuaikan untuk erodibilitas dan tutupan lahan.

3.5. Model GUEST

Model fisik yang juga lebih realistis dibandingkan model empiris adalah model yang mendiskripsikan suatu proses erosi/sedimen berdasarkan teori/hukum-hukum fisik, seperti model GUEST (Griffith University Erosion System Template) menurut Rose (1997). Penentuan erosi dengan model ini menggunakan persamaan.

$$M = k^\beta Q_{eff}^{0,4\beta} \sum Q \exp(-k_s \cdot C_s)$$

Dimana: M = Konsentrasi sedimen, k = kapasitas transportasi dari run-off, Q_{eff} = debit aliran permukaan efektif, k_s = konstanta permukaan kontak, C_s = penutup tanaman, = erodibilitas.

Dibandingkan dengan USLE, salah satu keunggulan dari model fisik seperti GUEST adalah terakomodasinya fungsi filter sedimen. Dalam model GUEST terdapat tiga parameter yang dipengaruhi oleh spesifik filterstrips dan tipe penggunaan lahan, yaitu: koefisien manning, faktor penutupan permukaan tanah (the surface contact cover factor) yakni C_s dan K_s . Koefisien manning meningkat ketika kekasaran permukaan meningkat, dan membuat kecepatan aliran menurun, selanjutnya menyebabkan hasil sedimen (sedimen yield) menurun.

Faktor erodibilitas tanah yang digunakan dalam model GUEST () lebih pasti dibandingkan dengan K dalam USLE.

sebagian besar berhubungan dengan soil strenght. Depositability (ϕ) atau kemampuan agregat atau partikel tanah untuk mengendap, juga dilibatkan dalam perhitungan erosi.

IV. PENUTUP

Dampak penerapan teknik konservasi tanah terhadap besarnya erosi yang terjadi dapat dievaluasi melalui 2 cara yaitu pengukuran langsung di lapangan dan diprediksi menggunakan model-model matematis yang dibangun untuk maksud tersebut. Pengukuran langsung memerlukan waktu yang lama untuk menghasilkan data yang memadai untuk bisa dibandingkan dan biaya yang tidak sedikit untuk memelihara dan mengamatinnya di lapangan, untuk itu model-model erosi dapat menjadi alternatif yang cepat dapat memberikan angka kuantitatif.

Penggunaan model-model erosi telah banyak digunakan di berbagai negara termasuk Indonesia, namun demikian pengembangan model-model erosi dan input parameternya yang sesuai untuk kondisi negara tropis seperti Indonesia belum banyak dilakukan. Pengembangan model berbasis proses sudah saatnya untuk dikembangkan di Indonesia karena model ini dapat menunjukkan kejadian erosi secara keruangan (spatial) dan waktu. Informasi tersebut sangat penting dalam perencanaan konservasi tanah untuk menentukan kapan dan dimana tempat yang tepat untuk mengimplementasikan suatu teknik pencegahan erosi dan aliran permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 2010. Konservasi Tanah dan Air. Pembrit. IPB/IPB Pros. Cetakan ke 10. Bogor.
- Flanagan, D.C., Nearing, M.A., 1995. USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. NSERL Report No. 10. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette.
- ICRAF (International Center for Research in Agroforestry). 2001. Modelling Erosion at Different Scales, Case Study in The Sumber Jaya Watershed, Lampung, Indonesia. Internal Report ICRAF,. Bogor. 84p.

- Lal, R. 1994. Soil Erosion by Wind and Water: Problem and Prospects. *In*: R, Lal (Ed.). Soil/Erosion Research Methods. Soil and Water Conservation Society. Florida. p: 1-10.
- Nearing, M.A., L.J. Lane, and V.L. Lopes. 1994. Modelling Soil Erosion. *In* Lal, R. (Ed.). Soil Erosion Research Methods. Soil and Water Conservation Society. Florida. p: 127-158.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R., Williams, J.R., 2005. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, version 2005. Texas Water Resources Institute, Temple, TX.
- Rose, C.W., K.J. Coughland, C.A.A. Ciesiolka, and B. Fentie. 1997. Program GUEST (Griffith University Erosion System Template) *In* A New Soil Conservation Methodology and Application to Cropping Systems in Tropical Steeplands. (Ed.: Coughlan, K.J. and C.W. Rose). ACIAR Technical Reports, No. 40, Canberra. p: 34-58.
- Rose, C.W., K.J. Coughland, C.A.A. Ciesiolka, and B. Fentie. 1997. The Role of Cover in Soil Conservation *In* Coughlan, K.J. and C.W. Rose (Eds.). A New Soil Conservation Methodology and Application to Cropping Systems in Tropical Steeplands. ACIAR Technical Reports, No. 40, Canberra. p: 59-78.
- Schmitz dan Tameling. 2000. Modelling erosion at different scales, A. Preliminary Virtual Exploration of Sumber Jaya Watershed, International Center For Soil Research in Agroforestry (ICRAF), Bogor. (*Unpublished*)
- Sinukaban, N. 1997. Penggunaan model WEPP untuk memprediksi erosi. *Dalam* Collate Information and Analyzed Assessment Effect on Land Use on Soil Erosion. Pusat Penelitian Hutan. (Tidak dipublikasi).
- Sihite, T. 2001. Evaluasi dampak erosi tanah model pendekatan ekonomi lingkungan dalam perlindungan DAS: Kasus Sub-DAS Besai DAS Tulang Bawang Lampung. Southeast Asia Policy Research Working Paper, No. 11.
- Tarigan, S.D. dan N. Sinukaban. 2000. Peran Sawah sebagai Filter Sedimen: Studi Kasus di DAS Way Besai, Lampung. Prosiding Seminar Nasional Multifungsi Lahan Sawah. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat bekerjasama dengan MAFF Jepang dan Sekretariat ASEAN.
- Williams, J.R., 1969. Flood routing with variable travel time or variable storage coefficients. *Trans. ASAE* 12 (1), 100-103.
- Williams, J.R., 1975. Sediment Yield Prediction with Universal Equation using Runoff Energy Factor, ARS-S-40. Agricultural Research Service, USDA, Washington, DC.
- Williams, J.R., LaSeur, W.V., 1976. Water yield model using SCS curve numbers. *J. Hydraul. Div.* 102 (9), 1241-1253.
- Wischmeier, W.H. 1976. Use and Misuse of the Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, January-February 1976.
- Wischmeier, W.H., and D.D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses –A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook No. 537. U.S. Department of Agriculture, Washington DC. 58p.
- Yunus, L. 2005. Evaluasi Kerusakan DAS Citanduy Hulu dan Akibatnya di Hilir. Tesis Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.