

# PENGARUH EROSIVITAS HUJAN YANG DIPEROLEH DARI RUMUS YANG BERBEDA TERHADAP PEMODELAN EROSI BERBASIS RASTER (Studi Kasus di DAS Merawu, Banjarnegara, Jawa Tengah)

The Effect of Rain Erosivity Generated from Different Formulae on A Raster-Based Erosion Modeling  
(Case Study in Merawu Watershed, Banjarnegara, Central Java)

**Bambang Sulistyono**

Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Bengkulu  
Jalan Raya Kandang Limun, Bengkulu 38371  
E-mail : bambang\_sulistyono62@yahoo.co.id

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh erosivitas hujan yang diperoleh dari rumus yang berbeda terhadap pemodelan erosi USLE (Universal Soil Loss Equation) yang berbasis raster dengan memanfaatkan citra Landsat 7 ETM<sup>+</sup> dan Sistem Informasi Geografis (SIG).

Metode penelitian ini adalah melakukan analisis semua faktor yang mempengaruhi erosi dengan bantuan SIG. Faktor R dihitung menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Abdurachman, Bols, Lenvain, Soemarwoto dan Utomo dari 8 stasiun curah hujan yang direkam dari Juni 2004 sampai Mei 2006. Faktor K dihitung, dari 30 sampel tanah yang diambil dan dianalisis di laboratorium, menggunakan rumus K yang sudah disesuaikan. Faktor LS diturunkan dari analisis DEM (Digital Elevation Model) dengan memperhatikan flow direction dari masing-masing piksel. Faktor C diturunkan dari hubungan NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) citra Landsat 7 ETM<sup>+</sup> dengan Faktor C yang diukur di lapangan. Faktor P diturunkan menggunakan kriteria yang dikembangkan oleh Abdurachman yaitu yang diperoleh dengan kombinasi data slope hasil turunan DEM dengan penutupan lahan yang diinterpretasi dari citra Landsat 7 ETM<sup>+</sup>. Analisis lainnya adalah penyusunan peta berat jenis tanah yang digunakan untuk mengkonversi satuan erosi dari ton/Ha/bulan menjadi mm/bulan.

Setelah semua parameter erosi dianalisis, erosi kemudian dihitung dengan Faktor R menggunakan rumus yang berbeda. Untuk mengetahui pengaruhnya, erosi yang diperoleh dari model ( $E_{\text{model}}$ ) dibandingkan dengan erosi aktual yang terjadi ( $E_{\text{aktual}}$ ) yang diukur di DAS Merawu. Perbandingan dilakukan menggunakan Analisis Korelasi dan Perbandingan Langsung.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil erosi model dengan USLE berbasis raster ( $E_{\text{model}}$ ) yang memanfaatkan erosivitas hujan menggunakan rumus Abdurachman mempunyai nilai koefisien korelasi yang tinggi ( $r = 0,873$ ) dengan  $E_{\text{aktual}}$  dan sekaligus menghasilkan ketelitian yang sangat tinggi (yaitu 81,13 %).

**Kata kunci:** Erosivitas hujan, pemodelan erosi, SIG, Landsat 7 ETM<sup>+</sup>

## ABSTRACT

The research aims at studying the effect of rain erosivity generated from different formulae on a fully raster-based erosion modeling of USLE (Universal Soil Loss Equation) with the support of remotely sensed data of Landsat 7 ETM<sup>+</sup> and geographical information system technique.

Methods applied were by analysing all factors affecting erosion in GIS environment. Monthly R factor was evaluated based on formula developed by Abdurachman, Bols, Lenvain, Soemarwoto and Utomo using rainfall data recorded between June 2004 and May 2006. K factor was determined using modified formula used by Department of Forestry based on the result of laboratory analysis from 30 soil samples taken in the field. LS Factor was derived directly from DEM (Digital Elevation Model) and by taking flow direction from each pixel into consideration. C factor was derived from the formula after applying regression analysis between NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) of Landsat 7 ETM<sup>+</sup> and C Factor measured directly on the field. P factor was derived from the combination between

slope data from DEM and landcover classification interpreted from Landsat 7 ETM<sup>+</sup> using criteria developed by Abdurachman. Another analysis supporting the research activity was the creation of Map of Bulk Density used to convert erosion unit as from ton/hectare/month to mm/month.

After all erosion parameter were analysed, then erosion can be calculated by using R Factor using different formulae. To know its effect, erosion obtained from the model ( $E_{model}$ ) were compared with actual erosion ( $E_{actual}$ ) measured regularly at outlet of the Merawu watershed. Comparison was done by using Correlation Analysis and Direct Comparison.

The research result showed that fully raster-based erosion modeling of USLE ( $E_{model}$ ) using rain erosivity developed by Abdurachman has high coefficient of correlation ( $r = 0.873$ ) with  $E_{actual}$  and resulted high accuracy (i.e. 81.13 %).

**Keywords:** Erosion modeling, GIS, Landsat 7 ETM<sup>+</sup>, rain erosivity

**PENDAHULUAN**

Salah satu masalah lingkungan yang saat ini harus ditangani adalah terjadinya lahan kritis. Salah satu indikasi terjadinya lahan kritis adalah dengan mengetahui keadaan suatu DAS yang dari tahun ke tahun jumlah DAS kritisnya di Indonesia mengalami peningkatan (Kartodihardjo, 2008). Perencanaan untuk melakukan rehabilitasi lahan dan konservasi tanah pada kawasan yang kritis memerlukan data yang benar. Salah satu data yang diperlukan adalah adanya data erosi.

Pada umumnya, erosi diprediksi dari suatu model karena untuk memperoleh data erosi sesungguhnya (*actual erosion*) memerlukan waktu, tenaga dan biaya yang tidak sedikit. USLE (*Universal Soil Loss Equation*) merupakan salah satu model prediksi erosi yang banyak digunakan di berbagai negara, termasuk Indonesia, karena model tersebut mudah dikelola, relatif sederhana dan jumlah masukan atau parameter yang dibutuhkan relatif sedikit dibandingkan dengan model-model prediksi erosi lainnya yang lebih kompleks. Di Indonesia sendiri, penggunaannya sudah dimulai sejak tahun 1972 oleh Lembaga Penelitian Tanah (LPT) Bogor, bahkan Departemen Kehutanan telah memanfaatkan USLE dalam analisis lahan kritis berbasis vektor dan harkat dan telah berlaku dan diadopsi secara nasional (Guluda, 1996; Departemen Kehutanan, 1998).

Model prediksi erosi USLE dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Wischmeier and Smith, 1978):

$$A = R K L S C P \dots\dots\dots (1)$$

dalam hal ini :

- A = banyaknya tanah tererosi,
- R = faktor erosivitas,
- K = faktor erodibilitas tanah,
- L = faktor panjang lereng,
- S = faktor kecuraman lereng,
- C = faktor vegetasi penutup tanah dan pengelolaan tanaman,
- P = faktor tindakan konservasi tanah.

USLE dikembangkan dan berlaku untuk tanah-tanah di Amerika dan dibangun dengan mempergunakan petak-petak erosi yang mempunyai sudut lereng antara 3 – 20 % yang terletak di daerah iklim sedang. Penggunaannya di negara lain seperti di Indonesia memerlukan adaptasi dan modifikasi terhadap rumus USLE karena kebanyakan DAS di Indonesia mempunyai kombinasi kemiringan lereng besar (> 25 %) dan curah hujan yang tinggi. Salah satu modifikasi yang banyak dikembangkan di Indonesia adalah dalam hal penghitungan erosivitas hujan (Faktor R) karena di Indonesia kebanyakan data hujan yang tersedia hanyalah data yang diperoleh dari Ombrometer (Rahim, 2006), sedangkan aslinya USLE memanfaatkan data hujan yang diperoleh secara otomatis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh erosivitas hujan yang diperoleh dari rumus yang berbeda, khususnya yang dikembangkan oleh Abdurachman, Bols, Lenvain, Soemarwoto dan Utomo, pada pemodelan erosi USLE yang berbasis raster dengan memanfaatkan citra Landsat 7 ETM<sup>+</sup> dan SIG. Rumus-rumus tersebut adalah rumus yang dikembangkan oleh:

- a. Abdurachman (1989) sebagai:
 
$$R_m = ((\text{Rain})_m^{2,263} * (\text{Max P})_m^{0,678}) / (40,056 * (\text{Days})_m^{0,349}) \dots\dots\dots (2)$$
- b. Bols (1978 *dalam* Asdak, 2007) sebagai :
 
$$R_m = 6,119 \times (\text{Rain})_m^{1,21} \times (\text{Days})_m^{-0,47} \times (\text{Max P})_m^{0,53} \dots\dots\dots (3)$$
- c. Lenvain (DHV, 1989 *dalam* Asdak, 2007) sebagai:
 
$$R_m = 2,21 (\text{Rain})_m^{1,36} \dots\dots\dots (4)$$
- d. Soemarwoto (1991, *dalam* Rahim, 2006) sebagai:
 
$$R_m = 0,41 (\text{Rain})_m^{1,09} \dots\dots\dots (5)$$
- e. Utomo dan Mahmud (1984 *dalam* Utomo, 1989) sebagai:
 
$$R_m = - 8,79 + 17,01 \times (\text{Rain})_m \dots\dots\dots (6)$$

dalam hal ini:

- $R_m$  = Rata-rata indeks erosivitas hujan (unit/bulan)
- $(\text{Rain})_m$  = Rata-rata jumlah hujan bulanan (cm/bulan)

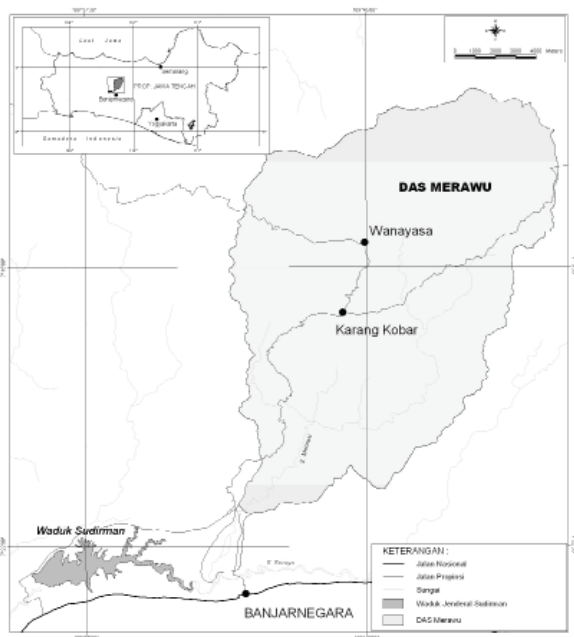
$(Max P)_m$  = Rata-rata curah hujan maksimum per hari (cm)  
 $(Days)_m$  = Rata-rata jumlah hari hujan per bulan

Pemodelan erosi USLE yang berbasis raster adalah pemodelan erosi yang semua data masukannya sudah dalam bentuk format raster, bukan dengan memanfaatkan algoritma *Vector to Raster Conversion*. Dari 5 (atau 6, jika faktor LS dipisah menjadi faktor L dan faktor S), maka faktor LS, C dan P langsung dapat diperoleh format data yang berbasis raster. Faktor R dan faktor K dapat diperoleh format data yang berbasis raster dengan memanfaatkan interpolasi spasial yang ada dalam hampir semua software GIS yang sudah ada di pasaran (Chang, 2008).

**METODE PENELITIAN**

**Lokasi Penelitian**

Secara geografis, lokasi penelitian dilaksanakan di DAS Merawu yang terletak antara 109°41'24" – 110°50'24" Bujur Timur dan 7°10'12" – 7°22'12" Lintang Selatan (Gambar 1). Secara administrasi, DAS Merawu terletak di Kabupaten Banjarnegara. Luas areal penelitian meliputi ± 22.734 Ha yang secara alamiah dibatasi oleh igir sebagai batas alam dengan DAS di sekitarnya. Ada 3 sungai utama yang mengalir dari Utara ke Selatan dari DAS Merawu, yaitu S. Merawu, S. Urang dan S. Penaraban. DAS Merawu menyumbang sedimen hasil erosi yang terbesar ke dalam Waduk Mrica sebagai salah satu PLTA, yaitu rata-rata 10,41 mm/tahun (PT. Indonesia Power, 2009).



Gambar 1. Lokasi Penelitian DAS Merawu

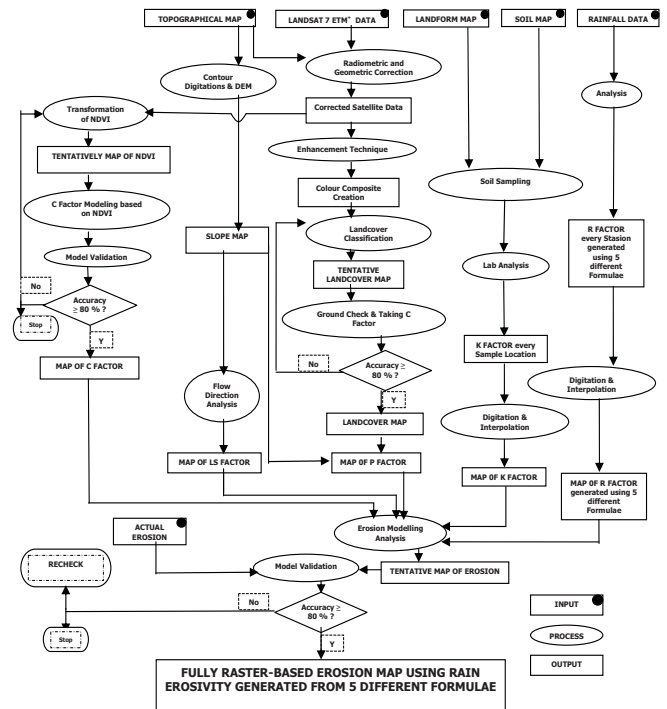
**Data yang Diperlukan:** Peta Topografi; Peta Bentuklahan, Peta Jenis Tanah; Peta Geologi; Data/Laporan Monitoring Hasil Sedimen pada outlet DAS; Citra Satelit Digital citra Landsat 7 ETM+ yang direkam 21 Mei 2003 dan 20 Juni 2006; Data Curah Hujan; Peta, Buku, Data dan Laporan-laporan lain yang berasal dari berbagai Instansi pemerintah yang mendukung penelitian.

**Piranti Lunak (Software) yang Diperlukan:** Program SIG ILWIS (*Integrated Land and Water Information System*) versi 3.4. untuk mengolah data berbasis raster; Program SIG ARC/INFO versi 3.4.2. untuk mengolah data berbasis vektor; Program SIG ARC/VIEW versi 3.3 untuk pembuatan *lay out* peta; Program Curve Expert serta Program MS Exel untuk analisis data secara statistik.

**Piranti Keras (Hardware) yang Diperlukan:** Seperangkat Laptop dan PC/Window Computer; Seperangkat Meja Digitizer; Seperangkat peralatan laboratorium/kantor yang meliputi: Meja Gambar dan Alat Gambar; Peralatan lapangan yang terdiri dari: teropong, kompas, hagameter, soil munsell color, pita ukur, ring sample, bor tanah, dan *Global Positioning System* (GPS), kamera digital; Peralatan/perlengkapan lain yang membantu memperlancar kegiatan.

**Cara Penelitian**

Secara diagram langkah-langkah penelitian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menganalisis semua faktor yang mempengaruhi erosi dengan bantuan SIG yang sepenuhnya berbasis raster. Ukuran piksel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 m x 30 m sesuai dengan resolusi spasial citra Landsat 7 ETM<sup>+</sup>.

Curah hujan bulanan yang dicatat antara Juni 2004 dan Mei 2006 (dari 8 stasiun curah hujan yang ada di dalam dan di sekitar DAS Merawu) digunakan untuk menghitung Faktor R dengan menggunakan lima rumus yang berbeda. Hasil hitungan Faktor R untuk setiap rumus kemudian diplotkan pada peta sesuai dengan koordinatnya, kemudian dilakukan digitasi, transformasi dan kemudian dilakukan interpolasi menggunakan metode interpolasi spasial *Moving Average* untuk memperoleh Peta Faktor R berbasis raster.

Faktor K dihitung menggunakan rumus yang digunakan oleh Departemen Kehutanan sebagai:

$$K = \{2,17 \times 10^{-4} \times (12-OM) \times M^{1,4} + 4,20 \times (s-2) + 3,23 \times (p-3)\} / 100 \dots\dots\dots (7)$$

dengan K adalah erodibilitas tanah, OM adalah prosentase bahan organik, S adalah kelas struktur tanah, P adalah kelas permeabilitas tanah dan M adalah (% liat + % pasir sangat halus) x (100 - % lempung).

Faktor K dihitung menggunakan 30 sampel tanah yang diambil di lapangan yang terdistribusi secara merata menurut bentuklahannya. Hasil hitungan Faktor K untuk setiap rumus kemudian diplotkan pada peta sesuai dengan koordinat sampel tanahnya, kemudian dilakukan digitasi, transformasi dan kemudian dilakukan interpolasi menggunakan metode interpolasi spasial *Kriging* untuk memperoleh Peta Faktor K berbasis raster. Untuk mengubah data *point* menjadi data berbentuk raster untuk suatu kawasan maka dilakukan interpolasi spasial dengan teknik *Kriging*. Dalam interpolasi spasial *Kriging* diperlukan informasi *sill*, *nugget* dan *range* yang diperoleh dengan melakukan analisis korelasi spasial (*spatial correlation*). Pemilihan *sill*, *nugget* dan *range* yang berbeda akan menghasilkan peta yang berbeda. Pemilihan *sill*, *nugget* dan *range* yang tepat dapat diperoleh setelah melakukan *trial and error* dengan mengamati hasil peta yang diperoleh.

Faktor S diturunkan dari DEM, demikian juga Faktor L dengan memperhatikan *flow direction*. Panjang lereng setiap piksel diberi nilai 30 meter untuk arah Selatan, Barat, Utara dan Timur, sedangkan untuk arah Tenggara, Barat Daya, Barat Laut, dan Timur Laut diberi nilai 42,43.

Untuk lereng < 22 %, Faktor LS dihitung menggunakan rumus yang disederhanakan dari rumus Wischmeier dan Smith sebagai:

$$LS = \sqrt{\{(L_a) \times (1,38 + 0,965 s + 0,138 s^2) / 100\}} \dots\dots (8)$$

sedangkan untuk lereng > 22 % digunakan rumus Gregory sebagai:

$$LS = (L_a / 2,21)^{0,5} \times 34,7046 \times \text{Cos}(s_a)^{1,503} \times \{0,5 \times \text{Sin}(s_a)^{1,249} + \text{Sin}(s_a)^{2,249}\} \dots\dots\dots (9)$$

dalam rumus tersebut L<sub>a</sub> adalah panjang lereng aktual (dalam m), s adalah kemiringan lereng (dalam % /100) dan s<sub>a</sub> adalah kemiringan lereng (dalam derajat).

Faktor C diturunkan dari analisis regresi menggunakan rumus (Kazmier, 1995):

$$Y = a + b X \dots\dots\dots (10)$$

dengan Y adalah Faktor C yang diukur langsung di lapangan, X adalah nilai NDVI dari citra Landsat 7 ETM<sup>+</sup> (direkam pada 20 Juni 2006), a adalah intersep dan b adalah arah garis regresi.

Faktor C diestimasi di lapangan (C<sub>f</sub>) menggunakan beberapa subfaktor yang meliputi *Prior Land Use* (PLU), *Canopy Cover* (CC), *Surface Cover* (SC) dan *Surface Roughness* (SR) mengikuti metode yang dijelaskan dalam penerapan RUSLE (Renard *et al.*, 1997 dalam Suriyaprasit, 2008) sebagai berikut:

$$C_f = SC \ CC \ PLU \ SR \dots\dots\dots (11)$$

Indeks vegetasi merupakan kombinasi matematis dari beberapa saluran (band) citra satelit yang mempunyai kepekaan terhadap keadaan vegetasi. Indeks vegetasi didasarkan atas sifat pantulan vegetasi jika dibandingkan dengan sifat pantulan tanah. Kawasan bervegetasi ditunjukkan oleh tingginya sifat pantulan pada band inframerah dekat dan sifat pantulannya rendah pada band merah (Lillesand dan Kiefer, 2004). NDVI dirumuskan sebagai:

$$NDVI = (IMD - M) / (IMD + M) \dots\dots\dots (12)$$

dalam rumus tersebut, IMD adalah saluran inframerah dekat (NIR) dan M adalah saluran merah (RED) dari citra Landsat 7 ETM<sup>+</sup>.

Dari analisis regresi akan diperoleh nilai koefisien korelasi. Pada penelitian ini, dipilih nilai ambang (*threshold*) nilai koefisien korelasi ≥ 0.80 (r ≥ 0.80) untuk menyatakan kriteria bahwa NDVI dapat digunakan dalam menentukan Faktor C.

Analisis perubahan penutupan lahan dilakukan antara citra Landsat 7 ETM<sup>+</sup> yang direkam tahun 2003 dengan citra Landsat 7 ETM<sup>+</sup> yang direkam tahun 2006. Analisis perubahan penutupan lahan dilakukan untuk mengetahui laju perubahan sebagai dasar dalam menghitung koreksi Faktor C selama 24 bulan sesuai dengan jumlah bulan dari data erosivitas hujan.

Faktor P diturunkan dari kombinasi data slope hasil turunan DEM dengan penutupan lahan yang diinterpretasi

dari citra Landsat 7 ETM<sup>+</sup> dengan mengacu pendapat Abdurachman dkk (1985) yang menentukan Faktor P seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai P berdasarkan Kawasan Pertanian dan Bukan Pertanian

No	Kawasan	Nilai P
1	Kawasan Pertanian pada kemiringan $\leq 8\%$	0,50
2	Kawasan Pertanian pada kemiringan $\geq 8\%$ - 20 %	0,75
3	Kawasan Pertanian pada kemiringan $\geq 20\%$	0,90
4	Kawasan Bukan Pertanian	1,00

Sumber : Abdurachman dkk (1985)

Analisis lain yang mendukung adalah penyusunan peta berat jenis dan analisis perubahan nilai NDVI. Seperti halnya pemetaan Faktor K, penyusunan peta berat jenis diturunkan dari hasil analisis sampel tanah yang kemudian dilakukan interpolasi menggunakan metode interpolasi spasial *Kriging*. Peta berat jenis digunakan untuk mengkonversi satuan erosi dari ton/Ha/bulan menjadi mm/bulan (Arsyad, 2000).

Untuk melakukan interpolasi Faktor C yang dihitung setiap bulan, sesuai dengan bulan data curah hujan yang digunakan untuk menghitung Faktor R, dilakukan analisis perubahan tutupan lahan. Hal ini dilakukan dengan cara menumpangsusunkan NDVI tahun 2003 dengan NDVI tahun 2006.

Setelah semua data dianalisis maka kemudian dapat dilakukan perhitungan erosi model USLE dengan menggunakan rumus yang sudah ada dengan memanfaatkan berbagai rumus erosivitas yang berbeda.

Total kehilangan tanah (A) sebagai akibat terjadinya erosi merupakan hasil dari perhitungan persamaan Erosi Model USLE yang telah dikemukakan. Secara teknis Peta Erosi DAS Merawu dalam penelitian adalah hasil kalkulasi data raster parameter-parameter USLE yang telah diuraikan sebelumnya.

Nilai piksel peta Erosi Model USLE (A) adalah jumlah tanah yang hilang akibat proses erosi alur dan erosi lembar (*rill erosion* dan *sheet erosion*) pada luasan 30 m x 30 m (= 900 m<sup>2</sup>), dalam satuan ton/Ha/bulan. Mengalikan (dan kemudian menjumlahkan untuk seluruh DAS Merawu) nilai piksel peta Erosi Model USLE (A) dengan faktor luasan piksel (900 m<sup>2</sup> = 0,09 Ha) dan membaginya dengan Peta Berat Jenis (BD), luas DAS (22.734.000 m<sup>2</sup>) serta angka tetapan 10 maka akan menghasilkan nilai real kehilangan tanah untuk seluruh DAS Merawu (A<sub>DAS</sub>) dalam satuan mm/bulan.

$$A_{DAS} = (A \times 0,09 / BD / 22.734.000 / 10)_{1-n}$$

Pendekatan USLE digunakan untuk memperkirakan jumlah tanah hilang yang disebabkan oleh erosi alur dan erosi lembar, sedangkan erosi total (*gross erosion*) adalah erosi alur dan erosi lembar ditambah dengan erosi lembah (*gully erosion*) dan erosi saluran (*channel erosion*). Erosi lembah dan erosi saluran dihitung sesuai dengan hasil kajian Piest *et al* (1975) dan Seyhan (1976). Piest *et al* (1975) menyimpulkan bahwa erosi lembah adalah seperlima (1/5) dari total sedimen yang terjadi, sedangkan Seyhan (1976) menyimpulkan bahwa erosi saluran adalah 10 % dari erosi permukaan dan alur secara bersama-sama.

$$E = (A + G + C)$$

E = erosi total (*gross erosion*)

A = erosi permukaan dan alur (*sheet and rill erosion*)

G = erosi lembah (*gully erosion*)

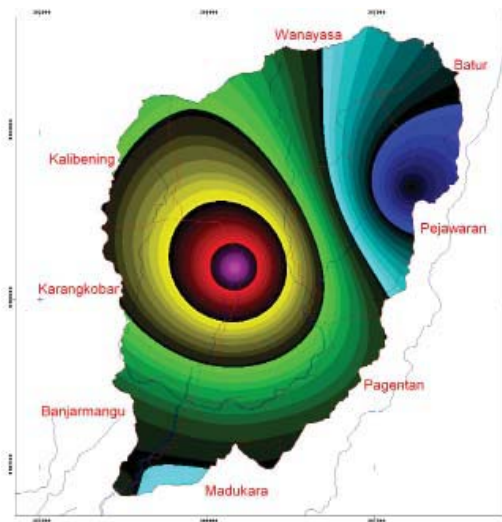
C = erosi saluran (*channel erosion*)

Hasil pemodelan erosi yang seluruhnya memanfaatkan format raster (E<sub>model</sub>) merupakan terapan baru melalui integrasi data penginderaan jauh dan SIG. Sebagai sebuah model baru harus dilakukan pengujian untuk menilai kehandalannya. Dalam penelitian ini erosi aktual (E<sub>aktual</sub>) sebagai pembanding adalah erosi yang secara kontinyu diukur di DAS Merawu yang dilakukan oleh PT. INDONESIA POWER (2009), Unit Pembangkitan Mrica, Waduk Panglima Besar Jendral Sudirman, Kab. Banjarnegara, Prop. Jawa Tengah. Data yang diukur adalah dalam bentuk hasil sedimen yang kemudian dikonversi menjadi tebal erosi dalam satuan yang sama dengan tebal erosi hasil pemodelan. Perbandingan antara E<sub>model</sub> dengan E<sub>aktual</sub> dilakukan menggunakan Analisis Korelasi. Apabila koefisien korelasi model lebih besar daripada koefisien korelasi tabel, menunjukkan korelasi yang kuat. Selain itu juga dilakukan perbandingan langsung (dengan cara mengurangkan E<sub>model</sub> dengan E<sub>aktual</sub>) untuk mengetahui ketelitian mutlak dari model. Nilai ambang 80 % dipilih untuk menentukan apakah suatu model mempunyai ketelitian yang absolut atau tidak.

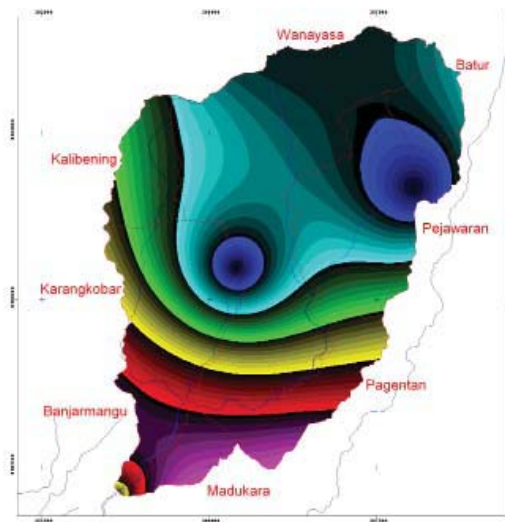
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Faktor R yang dihasilkan dari 5 rumus yang berbeda

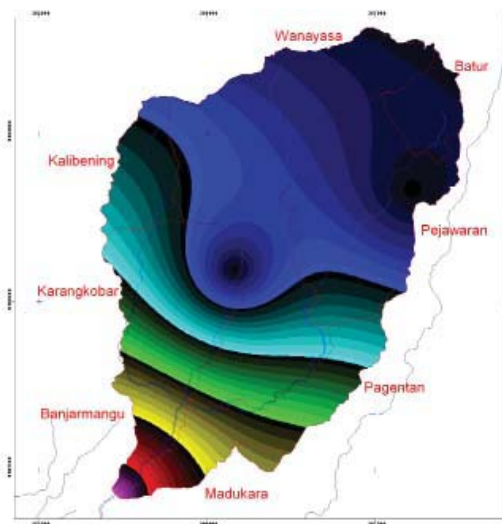
Contoh pola penyebaran hasil Peta Faktor R untuk beberapa bulan yang dihasilkan menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Abdurachman disajikan pada Gambar 3.



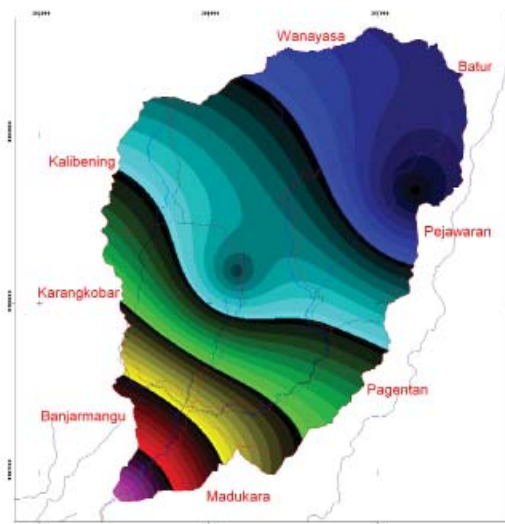
a. Peta Faktor R bulan Oktober 2004



b. Peta Faktor R bulan April 2005



c. Peta Faktor R bulan Agustus 2005



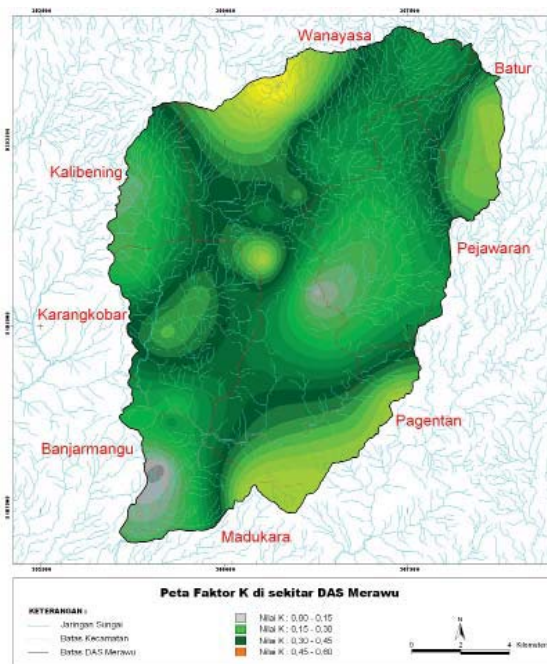
d. Peta Faktor R bulan April 2006

Gambar 3. Contoh Peta Pola Penyebaran Faktor R DAS Merawu

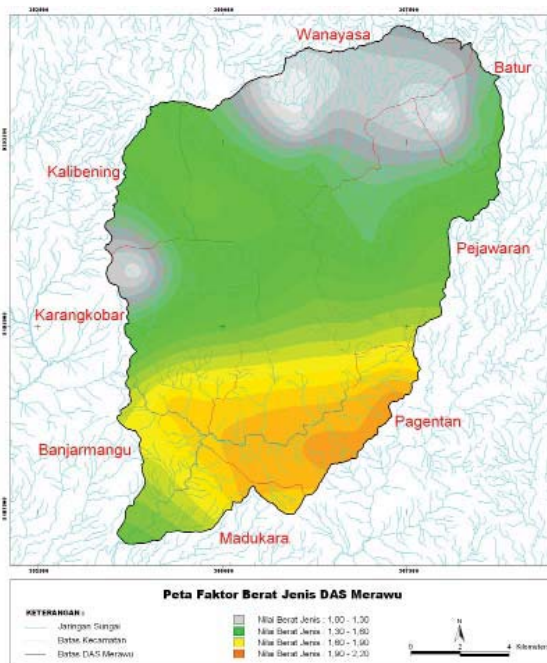
### Hasil Peta Faktor K dan Peta Berat Jenis

Setelah melakukan *trial and error*, akhirnya untuk pemetaan faktor K dipilih nilai 0,000; 0,013; dan 8,000

sebagai *sill*, *nugget* dan *range*, sedangkan untuk pemetaan berat jenis dipilih nilai 0,025; 0,150 dan 8.500. Hasilnya disajikan pada Gambar 4. dan Gambar 5.



Gambar 4. Peta Erodibilitas Tanah DAS Merawu



Gambar 5. Peta Berat Jenis Tanah DAS Merawu

Secara garis besar DAS Merawu mempunyai nilai rata-rata erodibilitas tanah sebesar 0,29 (dengan nilai minimumnya 0,08 dan maksimum 0,54), sedangkan berat jenisnya mempunyai nilai rata-rata sebesar 1,60 (dengan nilai minimumnya 1,03 dan maksimum 2,16).

### Hasil Peta Faktor LS

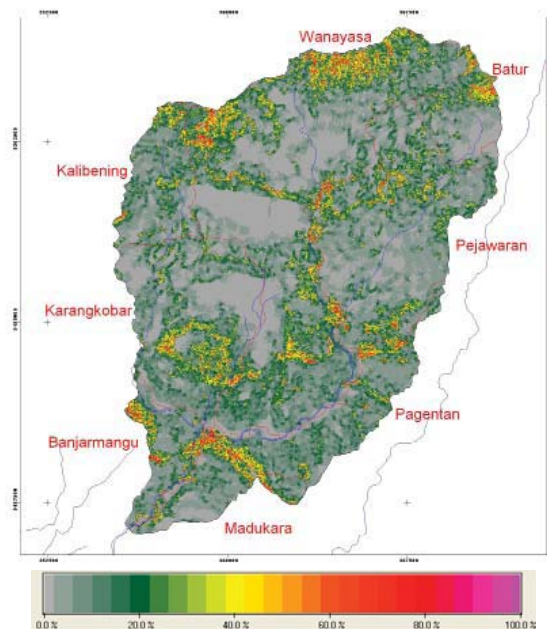
Hasil interpolasi kontur di wilayah DAS Merawu menghasilkan DEM yang kemudian dapat diturunkan citra kemiringan lereng (S) dan *Flow Direction* (citra Aspek). Untuk keperluan menghitung Faktor LS, dari citra kemiringan (S) diturunkan faktor eksponen (m) dengan ketentuan  $m = 0,1$  jika  $S \leq 1\%$ ;  $m = 0,3$  jika  $S > 1\%$  dan  $S \leq 3\%$ ;  $m = 0,4$  jika  $S > 3\%$  dan  $S < 5\%$ ; dan  $m = 0,5$  jika  $S \geq 5\%$ . Akhirnya Faktor LS dapat ditentukan dengan menggunakan rumus yang sudah ada. Hasilnya disajikan pada Tabel 2, sedangkan penyebarannya disajikan pada Gambar 6.

Tabel 2. Luas wilayah DAS Merawu menurut Faktor LS

Kelas	Kelas Faktor LS	Luas (Ha)	Luas (%)
1	$< 20$	16.465	72,4
2	$20 \leq LS < 40$	3.437	15,1
3	$40 \leq LS < 60$	1.680	7,4
4	$60 \leq LS \leq 80$	1.150	5,1
Jumlah		22.734	100,0

Sumber : Hasil Analisis (2010)

Dari Tabel 2 tersebut dapat dilihat bahwa kawasan DAS Merawu didominasi oleh faktor LS yang lebih kecil dari 10, yaitu seluas 16.465 Ha (72,4 %). Selebihnya merupakan kawasan dengan faktor  $LS \geq 10$  yang mencakup 6.267 Ha (17,6 %).



Gambar 6. Peta Faktor LS DAS Merawu

**Hasil Peta Faktor C**

Analisis regresi berbentuk linier antara Faktor C yang diukur langsung di lapangan dan nilai NDVI yang diturunkan dari citra Landsat 7 ETM+ menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$C = 0,60 - 0,77 \text{ NDVI} \quad (r= 0.80) \dots\dots\dots (13)$$

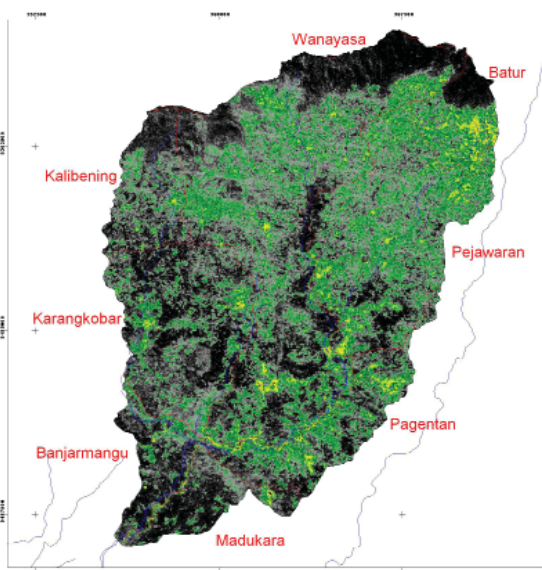
Luas Faktor C DAS Merawu disajikan pada Tabel 3, sedangkan distribusinya disajikan pada Gambar 7.

Tabel 3. Luas Faktor C di DAS Merawu

No.	Interval Faktor C	Luas (Ha)
1.	0 - 0,1	12.986
2.	0,1 - 0,2	5.804
3.	0,2 - 0,3	2.291
4.	0,3 - 0,4	1.116
6.	0,4 - 1,0	535
Jumlah		22.731,48

Sumber : Hasil Analisis (2010)

Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa luas masing-masing kelas interval faktor c berbeda-beda sesuai. Demikian juga distribusi keruangannya menunjukkan adanya perbedaan, walaupun agak sulit membedakan secara mendalam karena skala peta yang terlalu kecil. Dari peta dapat diketahui bahwa penyebaran faktor C yang tinggi dominan terjadi pada kawasan Kecamatan Batur yang merupakan kawasan yang intensif digunakan sebagai lahan untuk tanaman sayur-sayuran seperti wortel, kentang, daun bawang merah. Faktor C yang tinggi juga secara sporadis terjadi hampir pada semua kawasan.



Gambar 7. Peta Faktor C DAS Merawu yang diturunkan dari NDVI

Hasil analisis perubahan NDVI antara tahun 2003 dan tahun 2006 memperlihatkan bahwa jumlah piksel yang tidak berubah adalah 218.947 piksel (86,69 %). Jadi jumlah piksel yang mengalami perubahan adalah (13,31 %) dalam kurun waktu 36 bulan, atau dapat dikatakan bahwa laju perubahannya adalah 0,3698 % / bulan. Nilai laju ini digunakan untuk menginterpolasi Faktor C antara Mei 2006 sampai Juni 2004.

**Hasil Peta Faktor P**

Dengan mengacu pada Tabel 1 tersebut maka Faktor P dapat ditentukan dengan menggabungkan peta penutupan/penggunaan lahan (yang merupakan hasil interpretasi dari citra Landsat 7 ETM+) dengan citra kemiringan lahan (yang merupakan hasil turunan dari DEM). Secara global hasilnya disajikan pada Tabel 4, sedangkan penyebarannya disajikan pada Gambar 8.

Tabel 4. Luas wilayah DAS Merawu menurut Faktor P

No	Nama Kawasan	Luas (Ha)	Luas (%)
1	Kawasan bukan pertanian dengan nilai P = 1	7.548	33,2
2	Kawasan pertanian dengan nilai P < 1	15.186	66,8
Jumlah		22.734	100,0

Sumber : Hasil Analisis (2010)

Dari Tabel 4 tersebut terlihat bahwa wilayah DAS Merawu didominasi oleh kawasan pertanian dengan berbagai bentuknya yang menempati kawasan seluas 15.186 Ha (66,8 %), sedangkan sisanya merupakan kawasan hutan pinus, belukar dan semak belukar yang menempati kawasan seluas 7.548 Ha (33,2 %).



Gambar 8. Peta Faktor P DAS Merawu



**Hasil Pemodelan Erosi Model USLE dengan berbagai Faktor R yang dihitung menggunakan rumus yang berbeda serta Hasil Ujinya**

Hasil hitungan erosi total yang dihitung menggunakan Model USLE (dengan menggunakan Faktor R yang dihitung menggunakan rumus yang berbeda), erosi aktualnya dan hasil ujinya disajikan pada Tabel 5.

Dari Tabel 5 tersebut dapat diketahui bahwa semua hasil erosi yang memanfaatkan erosivitas hujan menggunakan berbagai rumus ( $E_{\text{model}}$ ) mempunyai korelasi yang tinggi dengan hasil erosi aktual ( $E_{\text{aktual}}$ ) ( $r \geq 0,80$ ). Erosivitas hujan model Utomo dan Soemarwoto menunjukkan korelasi tertinggi ( $r = 0,948$ ), diikuti model Lenvain ( $r = 0,943$ ), model Bols ( $r = 0,887$ ) dan yang terendah adalah model Abdurachman ( $r = 0,873$ ). Model dikatakan sempurna jika nilai  $r = 1$ . Hasil

Tabel 5. Hasil hitungan Erosi Model USLE, Erosi Aktual dan Hasil Ujinya

No	Bulan	Tebal Erosi Aktual (mm/bulan)	Tebal Erosi Hasil Pemodelan (mm/bulan) dengan Faktor R dihitung dengan menggunakan rumus :				
			Abdurachman	Bols	Lenvain	Soemarwoto	Utomo
1	Mei-06	0,794	0,202	1,334	1,300	1,369	3,458
2	Apr-06	1,707	1,311	3,037	2,996	2,563	6,148
3	Mar-06	0,780	0,284	1,051	1,007	1,035	2,585
4	Feb-06	2,030	2,007	3,416	4,033	3,346	7,952
5	Jan-06	3,075	2,715	4,329	5,044	3,921	9,164
6	Des-05	2,702	4,606	5,669	6,315	4,711	10,877
7	Nop-05	0,879	1,039	3,102	2,522	2,283	5,563
8	Okt-05	0,564	0,998	2,357	2,250	1,969	4,746
9	Sep-05	0,289	0,135	0,857	0,655	0,749	1,907
10	Agust-05	0,207	0,093	0,777	0,309	0,354	0,888
11	Jul-05	0,191	0,520	1,228	1,106	1,041	2,546
12	Jun-05	0,374	0,756	1,941	1,802	1,628	3,972
13	Mei-05	0,800	0,378	1,546	1,163	1,151	2,869
14	Apr-05	1,764	0,486	1,617	1,497	1,454	3,594
15	Mar-05	1,370	1,455	2,850	2,833	2,397	5,748
16	Feb-05	1,341	1,024	2,355	1,978	1,801	4,396
17	Jan-05	1,765	0,814	2,303	2,224	2,018	4,922
18	Des-04	2,738	7,213	9,431	7,406	5,441	12,483
19	Nop-04	0,988	3,128	5,552	3,553	2,936	6,974
20	Okt-04	0,036	0,059	0,581	0,528	0,619	1,575
21	Sep-04	0,029	0,014	0,260	0,267	0,350	0,898
22	Agust-04	0,024	0,000	0,004	0,004	0,007	0,000
23	Jul-04	0,082	0,019	0,328	0,205	0,284	0,724
24	Jun-04	0,130	0,059	0,603	0,176	0,221	0,531
A.	Rata-rata	1,027	1,221	2,355	2,132	1,819	4,355
B.	Koefisien Korelasi		0,873	0,887	0,943	0,948	0,948
C.	Uji r :						
1	$r_{\text{hit}} =$		5,51	5,96	9,11	9,57	9,66
2	$r_{\text{tabel}}$ dgn dk 1;22 dan $\alpha$ 0,05		2,07	2,07	2,07	2,07	2,07
D.	Uji Ketelitian (%)		81,13	29,23	7,53	23,01	-223,83

Sumber : Hasil Analisis (2010)

ini diperkuat dengan Uji Korelasi yang menunjukkan bahwa  $r_{hitung}$  pada semua model lebih besar daripada  $r_{tabel}$  pada derajat kebebasan 1 dan 22 dengan tingkat keyakinan ( $\alpha$ ) 95 %.

Namun demikian, dari kelima  $E_{model}$  maka hanya  $E_{model}$  yang memanfaatkan erosivitas hujan yang menggunakan rumus Abdurachman yang mempunyai ketelitian  $\geq 80$  % (yaitu 81,13 %), sedangkan  $E_{model}$  yang memanfaatkan erosivitas hujan yang menggunakan rumus Bols, Lenvain, Soemarwoto, dan Utomo menghasilkan ketelitian yang sangat rendah, yaitu berturut-turut 29,23 %, 7,53 %, 23,01 % dan -223,83 %.

Secara keseluruhan menunjukkan bahwa hasil pemodelan erosi model USLE yang sepenuhnya berbasis raster ( $E_{model}$ ) yang memanfaatkan erosivitas hujan yang menggunakan model Abdurachman mempunyai nilai koefisien korelasi yang tinggi ( $r = 0,873$ ) dan sekaligus menghasilkan ketelitian yang sangat tinggi (yaitu 81,13 %).

Salah satu kemungkinan penyebab terjadinya perbedaan antara  $E_{aktual}$  dengan  $E_{model}$  yaitu pada pengumpulan data Tinggi Muka Air (TMA) yang hanya dilakukan 3 kali dalam sehari yaitu jam 07:00, 12:00 dan 17:00 sehingga fluktuasi keadaan TMA yang sesungguhnya tidak diperhitungkan.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian di DAS Merawu menunjukkan bahwa hasil erosi model USLE yang sepenuhnya berbasis raster ( $E_{model}$ ) yang memanfaatkan erosivitas hujan model Utomo dan Soemarwoto menunjukkan korelasi tertinggi ( $r = 0,948$ ), diikuti model Lenvain ( $r = 0,943$ ), model Bols ( $r = 0,887$ ) dan yang terendah adalah model Abdurachman ( $r = 0,873$ ). Namun demikian, dari kelima  $E_{model}$  maka hanya  $E_{model}$  yang memanfaatkan erosivitas hujan yang menggunakan rumus Abdurachman yang mempunyai ketelitian  $\geq 80$  % (yaitu 81,13 %).

## DAFTAR PUSTAKA

Abdurachman, A. (1989). *Rainfall Erosivity and Soil Erodibility in Indonesia: Estimation and Variation with Time*. Thesis Doctor. Faculty of Agricultural Sciences. Ghent. Belgium.

Abdurachman, A. Barus, A., Kurnia, U. (1985), *Pengelolaan Tanah dan Tanaman Untuk Usaha Konservasi Tanah, Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk*, Pusat Penelitian Tanah, Bogor.

Arsyad, S. (2000). *Konservasi Tanah dan Air*, Penerbit IPB/ IPB Press, Cetakan ke-3, Dargama, Bogor.

Asdak, C., (2007). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Chang, K. T., (2008). *Introduction to Geographic Information Systems*, McGraw-Hill International Edition, New York, USA.

Departemen Kehutanan, Dirjen RRL. (1998). *Pedoman Penyusunan RTL-RLKT Daerah Aliran Sungai*, Jakarta.

Guluda, D.R. (1996). *Penggunaan Model AGNPS Untuk Memprediksi Aliran Permukaan, Sedimen dan Hara N, P dan COD di DAS Citere, Sub DAS Citarik, Pengalengan*, Tesis, Program Pasca Sarjana, IPB, Bogor.

Kartodihardjo, H. (2008). *Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Hidup, Seminar Lingkungan Hidup dan Sumberdaya Alam*, Universitas Bengkulu, Bengkulu.

Kazmier, L.J. (1995). *Business Statistics*, Third Edition, McGraw-Hill, Toronto.

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., and Chipman, J. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation (5 ed.)*, John and Wiley Sons, New York.

Piest, R., Brandfort and Spomer, (1975). *Mechanism of Erosion and Sediment Movement from Gullies; Present and Perspective Technology for Predicting Sediment Yield and Sumber*, *Proceedings of Sediment Yield Workshop*, USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi.

PT. Indonesia Power. (2009). *Laporan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA PB. Soedirman*, Unit Bisnis Pembangkitan Mrica, Banjarnegara.

Rahim, S.E. (2006). *Pengendalian Erosi Tanah Dalam Rangka Pelestarian Lingkungan Hidup*, Penerbit Bumi Aksara, Jakarta.

Seyhan, E. (1976). *Prediction of Sediment Yield and Sumber*, Utrecht, The Netherlands.

Suriyaprasit, M., 2008. *Digital terrain analysis and image processing for assessing erosion prone areas*. Unpublished MSc. Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands.

Utomo, W.H. (1989). *Konservasi Tanah di Indonesia, Suatu Rekaman dan Analisa*, Penerbit Rajawali, Jakarta.

Wischmeier WH & Smith DD. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses : A Guide to Conservation Planning*, USDA Agriculture Handbook No. 37.