



**Prosiding Seminar Nasional Pertanian Pesisir (SENATASI) Jurusan
Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu
Bengkulu, 29 November 2023**

DATA BERBASIS RASTER SEBAGAI PENGOREKSI MODEL LAHAN KRITIS BERBASIS VEKTOR

The Fully Raster-Based Data As A Corrector For Vector-Based Degraded Land Model

Bambang Sulistyo^{1*} dan Esi Asyani Listyowati²

^{1*)}Program Studi Ilmu Tanah, Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu,
Bengkulu

²⁾Jurusan Agribisnis, Fakultas Pertanian Universitas Islam “45” Bekasi, Bekasi

*Corresponding author : bsulistyo@unib.ac.id

ABSTRAK

Konservasi lahan kritis di Indonesia memerlukan Peta Lahan Kritis. Peta-peta tersebut dibuat berdasarkan model yang dikembangkan pada tahun 1998 oleh Departemen Kehutanan Indonesia pada saat itu. Model ini memiliki 2 kelemahan yaitu 1. tingkat ketidakpastian yang tinggi akibat penggunaan data berbasis vektor dalam pembuatan peta tematik dan 2. redundansi atau duplikasi parameter dari model. Penelitian ini bertujuan untuk membangun usulan model tingkat lahan lahan di DAS Merawu dengan menggunakan data sepenuhnya berbasis raster yang didukung teknik penginderaan jauh dan SIG. Parameter yang dianalisis adalah Kemiringan, Erosivitas (R), Erodibilitas (K), Panjang dan Kecuraman Lereng (LS), Penutupan dan Pengelolaan (C), Praktek Konservasi (P) dan Persentase Penutupan Tajuk. Data ini disajikan sepenuhnya dalam format raster. Parameter Konservasi tidak digunakan secara eksplisit dalam penelitian ini karena parameter konservasi sudah diwakili oleh parameter C dan P. Lima parameter diperoleh langsung dengan menggunakan format yang sepenuhnya berbasis raster, yaitu Kemiringan, LS, C, P dan Persentase Tutupan Tajuk. 2 parameter lainnya melalui proses interpolasi spasial sebelum disajikan dalam format yang sepenuhnya berbasis raster. Analisis korelasi antar parameter dilakukan. Parameter yang memiliki koefisien korelasi tinggi ($r \geq 0,8$) dikeluarkan dari model untuk menghindari redundansi. Model yang diusulkan hanya menggunakan parameter yang memiliki koefisien korelasi rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penentuan Tingkat Kekritisan Lahan lebih akurat bila hanya menggunakan parameter erosi, yang dirumuskan sebagai:

$$\text{Tingkat Kekritisan Lahan (TKL)} \approx \text{Erosi} \approx R \times K \times LS \times C \times P$$

Kata Kunci : Lahan Kritis, SIG, raster, pemodelan, penginderaan jauh

ABSTRACT

Conservation of degraded land in Indonesia requires maps of degraded land. The maps were established based on a model developed in 1998 by the then Indonesia Department of Forestry. The model had 2 weaknesses i.e. 1. high level of uncertainty due to vector-based data used to build the thematic maps and 2. parameters redundancy or duplication from the model. This research was aimed to build up a proposed model on levels of degraded land at Merawu Watershed using fully raster-based data supported with remote sensing and GIS techniques. Parameters analyzed were Slope, Erosivity (R), Erodibility (K), Slope Length and Steepness (LS), Cover and Management (C), Support Practice (P) and Percentage of Canopy Cover. These data were presented in fully raster format. Management parameter was not explicitly used in this research because management parameter was already represented by the C and P parameters. Five parameters were directly obtained using fully raster format, i.e. Slope, LS, C, P and Percentage of Canopy Cover. The other 2 parameters went through spatial interpolation process before being presented as fully raster format. Correlation analysis among parameters was carried out. Parameters having high correlation coefficient ($r \geq 0.8$) were excluded from the model to avoid redundancy. The proposed model only used parameters having low correlation coefficient. The research result showed that the determination of levels of degraded land was more accurate when using only erosion parameters, formulated as:

$$\text{Level of Degraded Land (LDL)} \approx \text{Erosion} \approx R \times K \times LS \times C \times P$$

Keywords: Degraded land, GIS, raster, remodel, remote sensing

PENDAHULUAN

Pengelolaan erosi tanah merupakan masalah dilematis bagi negara berkembang seperti Indonesia. Erosi semakin cepat dari tahun ke tahun karena tekanan penduduk dan pertumbuhan ekonomi yang tidak terkendali (Fulazzaky & Gany 2009; Sulistyo *et al.* 2009; Bohre & Chaubey 2014; Sulistyo 2015a). Terdapat enam jenis lahan kritis yaitu erosi air, erosi angin, penurunan kesuburan tanah, salinitasi, genangan air dan penurunan muka air tanah (FAO 1974). Di sebagian besar negara tropis seperti Indonesia, lahan kritis sebagian besar disebabkan oleh erosi air akibat curah hujan yang tinggi (Abdurachman & Sutono 2002), terutama ketika tutupan lahan telah dibuka. Tanah di lahan gundul akan tersapu oleh limpasan air ke tempat-tempat terendah atau muara (Arsyad 2000).

Identifikasi lahan kritis dapat dilakukan dengan mengetahui kondisi DAS. Di Indonesia, jumlah DAS kritis dan sangat tererosi semakin meningkat dari tahun ke tahun (Hidayat *et al.* 2014; Kartodihardjo 2008).

Untuk melakukan perbaikan lahan kritis, penting untuk mengidentifikasi tujuan konservasi dan menyebarkan tujuan tersebut kepada para pemangku kepentingan dalam bentuk peta lahan kritis (Tarigan 2012; Gibbs & Salmon 2015). Peta-peta ini biasanya dikembangkan dari model yang terdiri dari beberapa parameter terpilih, karena survei secara langsung ke lapangan akan sangat mahal (Sulistyo *et al.* 2017).

Dalam menentukan lahan kritis telah disusun suatu pedoman yang ditetapkan berdasarkan kriteria menurut Surat Keputusan Direktur Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan Departemen Kehutanan No. 041/Kpts/V/1998 tanggal 21 April 1998. SK tersebut

diperbaharui melalui Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Tentang Pedoman Monitoring dan Evaluasi Daerah Aliran Sungai, Nomor: P.04/V-Set/2009, tanggal 5 Maret 2009. Secara matematis Tingkat Kekritisan Lahan (selanjutnya disingkat TKL) dimodelkan menggunakan rumus sebagai:

$$\text{TKL} = w_1 \text{ Slope} + w_2 \text{ Erosi} + w_3 \text{ Tajuk} + w_4 \text{ Manajemen} \quad (1)$$

dengan w_1 , w_2 , w_3 dan w_4 adalah nilai konstanta yang ditentukan dengan cara memberikan bobot dan skor (harkat) sesuai nilai yang telah dimuat dalam tabel kriteria lahan kritis.

Dalam rumus (1) tersebut, besarnya erosi ditentukan berdasarkan persamaan USLE (*Universal Soil Loss Equation*) yang dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1978) dan dirumuskan sebagai:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (2)$$

Dengan:

A = banyaknya tanah tererosi (dalam ton/ha/tahun),

R = faktor curah hujan (dalam KJ/ha),

K = faktor erodibilitas tanah (dalam ton/KJ),

L = faktor panjang lereng (dalam m),

S = faktor kecuraman lereng (dalam %),

C = faktor vegetasi penutup tanah dan pengelolaan tanaman (tanpa satuan),

P = faktor tindakan konservasi tanah (tanpa satuan).

Jika persamaan (2) dimasukkan ke dalam persamaan (1) maka akan diperoleh rumus TKL sebagai berikut:

$$\text{TKL} = w_1 \text{ Slope} + w_2 (R \times K \times LS \times C \times P) + w_3 \text{ Tajuk} + w_4 \text{ Manajemen} \quad (3)$$

Beberapa kelemahan dalam model tersebut adalah: 1. Data masukan sebagian besar berupa peta tematik berbasis vektor yang disederhanakan sehingga menimbulkan ketidakpastian yang tinggi; dan 2) rumus atau model yang ada mengandung parameter yang berlebihan atau duplikat. DeMers (2008) menyatakan bahwa penyajian informasi bumi dalam model data vektor mengasumsikan adanya homogenitas dalam suatu unit pemetaan sebagai hasil dari klasifikasi dan penyederhanaan, sehingga variasi informasi bumi menjadi berkurang sehingga menimbulkan ketidakpastian.

Ketidakpastian tersebut dapat diminimalisir dengan menerapkan model yang sepenuhnya berbasis raster yang mampu menjaga variasi dan objektivitas informasi bumi (Aronoff 1989; Hadmoko 2007). Model yang sepenuhnya berbasis raster adalah salah satu kemajuan teknologi di bidang Penginderaan Jauh (RS) dan Sistem Informasi Geografis (GIS).

Sulistyo (2015a) mempelajari analisis Eliminasi unit lahan untuk menentukan TKL menggunakan format berbasis vektor. Eliminasi unit lahan menyebabkan penurunan laju erosi, mempengaruhi TKL dan akhirnya mempengaruhi rekomendasi untuk konservasi lahan kritis.

Semula USLE dikembangkan di kawasan pertanian kecil di Amerika Utara yang memiliki karakteristik iklim sedang (intensitas hujan rendah), kemiringan lereng 3 - 18%, dengan sistem tanam dan pengelolaan yang konsisten (Asdak 2007). Beberapa modifikasi akan diperlukan saat menerapkan USLE di lokasi yang memiliki karakteristik berbeda, terutama modifikasi pada parameter yang digunakan untuk menghasilkan estimasi erosi yang lebih andal.

Fistikoglu dan Harmancioglu (2002) menyimpulkan bahwa model erosi yang dikembangkan menggunakan USLE lebih dapat diandalkan bila analisis dilakukan dengan menggunakan data berbasis raster kecil. Sulistyó *et al.* (2009) membuktikan bahwa pemodelan erosi dengan menggunakan data yang sepenuhnya berbasis raster memberikan akurasi yang sangat tinggi ketika dibandingkan dengan erosi yang sebenarnya. Model erosi berbasis raster sepenuhnya menggunakan input data berformat raster. Input data dengan format raster bukanlah produk dari algoritma *Vector to Raster Conversion*.

Tiga parameter USLE (LS, C dan P) dapat langsung dihasilkan data berformat raster, sedangkan dua parameter USLE lainnya (R dan K) harus dikonversi menggunakan interpolasi spasial untuk mendapatkan data berformat raster. Interpolasi spasial adalah proses menggunakan titik-titik dengan nilai yang diketahui, untuk memperkirakan nilai-nilai titik lainnya (Chang 2008).

Beberapa parameter USLE telah dilakukan analisis yaitu R, C, LS, dan K (Sulistyó 2011a; Sulistyó 2011b; Sulistyó *et al.* 2011a; Sulistyó *et al.* 2011b; Sulistyó 2015b). Persentase Tutupan Tajuk juga dianalisis (Sulistyó *et al.* 2013). Semua parameter tersebut dianalisis menggunakan format data berbasis raster.

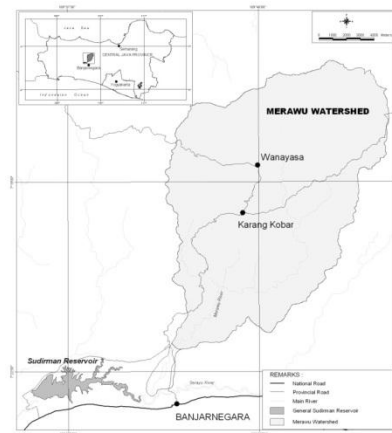
Penelitian ini bertujuan untuk mengoreksi model TKL di DAS Merawu dengan menggunakan format data yang sepenuhnya berbasis raster untuk menghindari redundansi atau duplikasi parameter.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan bagian akhir dari penelitian dalam rangka penyusunan disertasi Penulis Pertama yang meneliti tentang lahan kritis. Beberapa studi pendahuluan tentang hal ini telah diterbitkan oleh Penulis yaitu Sulistyó *et al.* 2009; Sulistyó 2011a; Sulistyó 2011b; Sulistyó *et al.* 2011; Sulistyó *et al.* 2013; Sulistyó 2015b; Sulistyó 2016 dan Sulistyó *et al.* 2017. Oleh karena itu, data, perangkat keras, perangkat lunak, lokasi penelitian dan metode yang digunakan dalam penelitian ini hampir serupa dengan penelitian terdahulu yang sudah dipublikasikan.

Lokasi Studi

Wilayah studi terletak di DAS Merawu, secara geografis terletak pada 109°41'24"-109°50'24" BT dan 7°10'12"- 7°22'12" S, secara administratif berada di Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah. DAS Merawu meliputi area seluas ± 22.734 ha dengan 3 sungai utama yang mengalir melalui wilayah tersebut dari Utara ke Selatan yaitu Sungai Merawu, Urang dan Penaraban (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

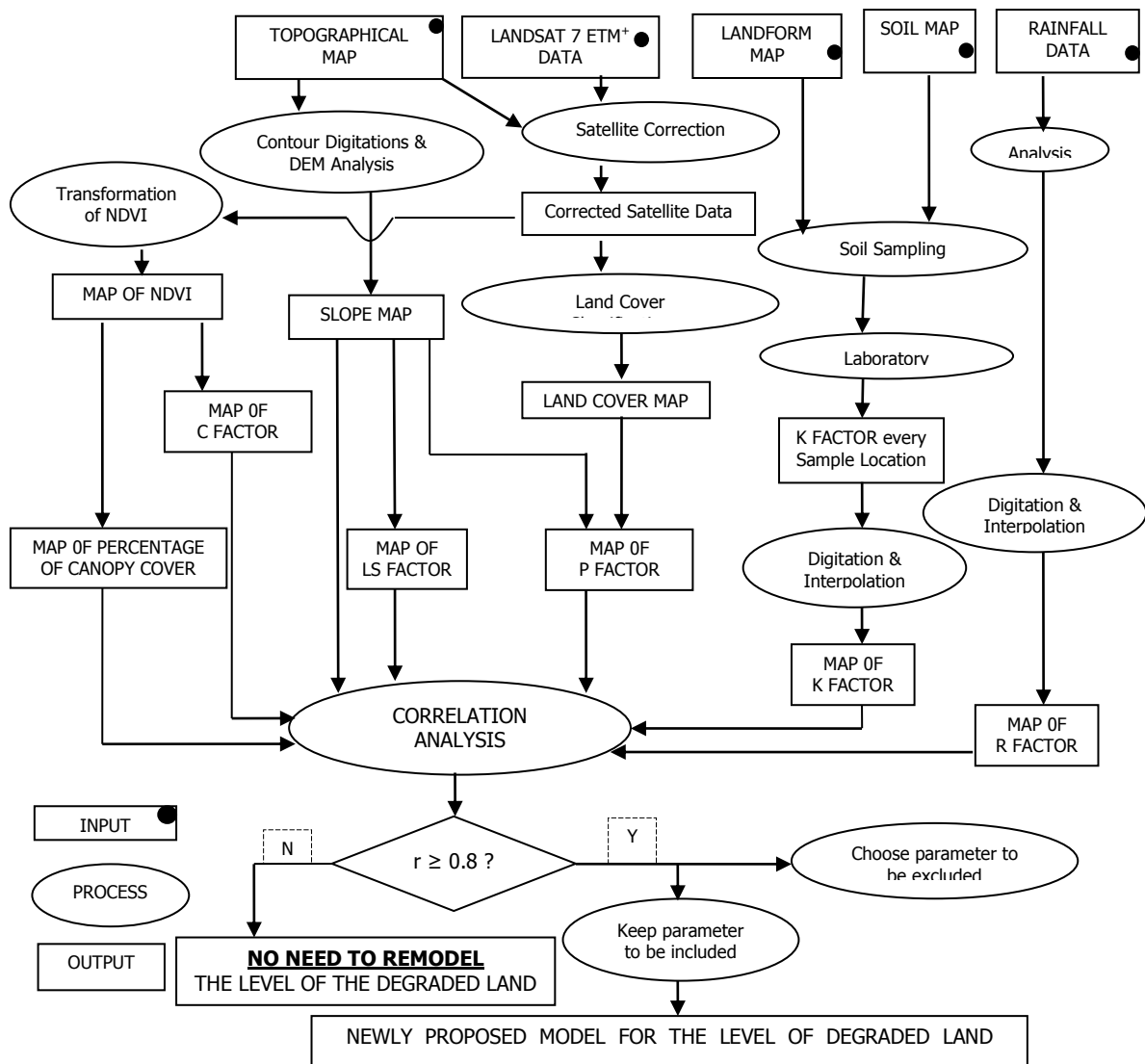
Data dan Metode

Data yang diperoleh adalah peta topografi, peta bentuk lahan, data penginderaan jauh Landsat 7 ETM⁺, data curah hujan yang tercatat di DAS Merawu dan sekitarnya, serta data dan laporan lain yang terkait dengan penelitian. *Software* GIS yang digunakan adalah ILWIS (*Integrated Land and Water Information System*) versi 3.4 dan ArcView versi 3.3. Beberapa peralatan yang digunakan untuk pekerjaan lapangan adalah Teropong, Kompas, Hagameter, Munsell soil color chart, Meteran, sample ring Tanah, Bor Tanah, GPS dan kamera digital.

Semua data yang mempengaruhi TKL dianalisis menggunakan format yang sepenuhnya berbasis raster. Ukuran piksel yang digunakan untuk penelitian ini adalah 30 x 30 m. Model TKL yang dikembangkan menggunakan format yang sepenuhnya berbasis raster (Gbr. 2).

Tahapan penelitian utama adalah membuat semua parameter TKL, kemudian melakukan analisis korelasi antar-parameter. Untuk melakukan analisis korelasi antar-parameter, semua data harus disajikan dalam bentuk kuantitatif. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut maka **faktor Manajemen** yang berbentuk kualitatif harus dikeluarkan dari persamaan (3). Sebenarnya **faktor Manajemen** sudah diwakili oleh faktor C dan P. Untuk analisis lebih lanjut, persamaan (3) dimodifikasi menjadi:

$$\text{TKL} = w_1 \text{ Slope} + w_2 (R \times K \times \text{LS} \times C \times P) + w_3 \text{ Persentase Penutupan Tajuk} \quad (4)$$



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Persamaan (4) secara eksplisit menunjukkan bahwa jumlah parameter TKL adalah Slope, Faktor R, Faktor K, Faktor LS, Faktor C, Faktor P, dan Persentase Tutupan Tajuk (7 parameter).

Menyusun Parameter TKL

Parameter TKL dibuat dengan metode serupa dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Penulis (Sulistyo *et al.* 2009; Sulistyo 2011a; Sulistyo 2011b; Sulistyo *et al.* 2011; Sulistyo *et al.* 2013; Sulistyo 2015b; Sulistyo 2016; Sulistyo *et al.* 2011; Sulistyo *et al.* 2013; Sulistyo 2015b; Sulistyo 2016; Sulistyo *et al.* al. 2017). Pengecualiannya adalah penggunaan NDVI untuk membuat faktor C; oleh karena itu, faktor C dirumuskan sebagai (Sulistyo *et al.* 2011a):

$$C = 0,6 - 0,77 \times \text{NDVI}$$

(5)

Persentase Tutupan Tajuk dirumuskan sebagai (Sulistyo *et al.* 2013):

$$\% \text{ CC} = 118,33 \times \text{NDVI} - 17.605$$

(6)

NDVI dapat diekstraksi dari data satelit untuk memperoleh informasi tutupan lahan menurut keradatangannya. NDVI dirumuskan sebagai (Silleos *et al.* 2006):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

(7)

dimana NIR merupakan band Infra Merah (*Near Infrared*) dan R adalah band Merah.

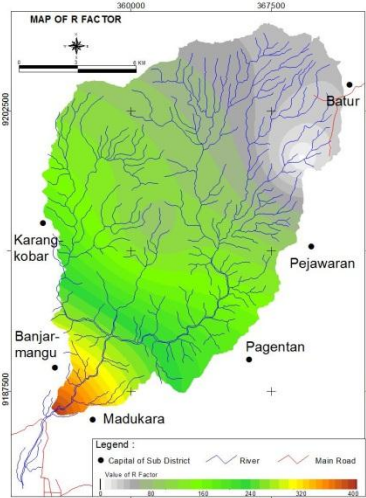
Analisis Korelasi antar-parameter TKL

Dalam kaitannya dengan pemodelan lahan kritis berbasis raster, setiap parameter memuat informasi spasial atau nilai piksel. Nilai piksel untuk setiap parameter TKL kemudian dilihat sebagai nilai piksel untuk setiap band atau saluran pada citra digital penginderaan jauh.

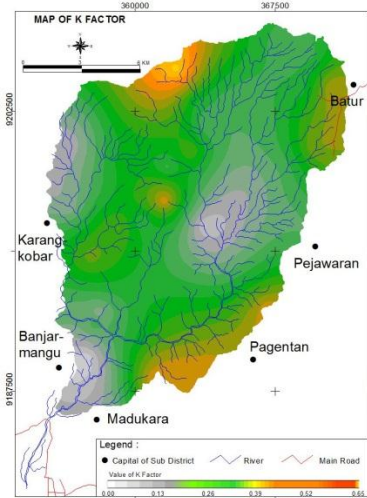
Analisis korelasi, sebagai salah satu statistik multi-band dalam analisis penginderaan jauh, diterapkan untuk menentukan kedekatan satu band dengan band lainnya (Ilwis User's Guide 2002; Lillesand *et al.* 2004). Band individu dari citra multi-spektral seringkali sangat berkorelasi, yang menyiratkan adanya redundansi dan duplikasi data. Matriks korelasi diimplementasikan untuk mengevaluasi derajat korelasi antar-band individu. Matriks korelasi (bentuk matriks kovarians yang dinormalisasi) memiliki nilai dalam kisaran -1 hingga 1, masing-masing mewakili korelasi negatif yang kuat hingga korelasi positif yang kuat. Nilai mendekati nol menunjukkan korelasi yang lemah. Band yang menunjukkan korelasi paling kecil, yang menyiratkan jumlah variasi citra terbesar, dipilih untuk dimasukkan dalam komposit multi-band, sebelum melakukan analisis klasifikasi multi-spektral. Parameter TKL yang memiliki nilai korelasi paling kecil dipilih untuk dimasukkan ke dalam model. Gordon *et al.* (1992) menyatakan bahwa nilai korelasi digolongkan “*tinggi*” jika nilai korelasinya $\geq 0,8$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

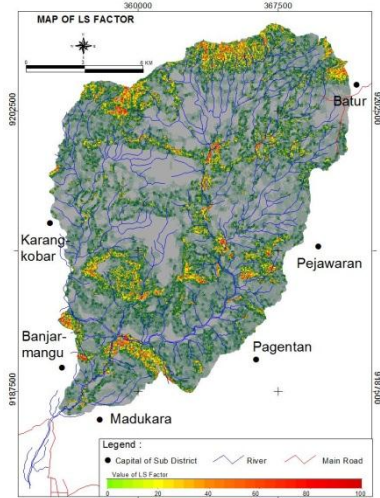
Peta masing-masing parameter TKL dalam format data berbasis raster disajikan pada Gambar 3 sd 9, sedangkan matriks korelasi parameter TKL disajikan pada Tabel 1.



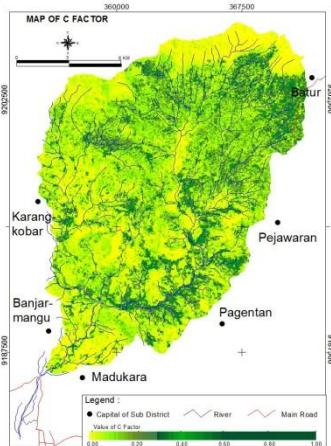
Gambar 3. Peta Faktor R



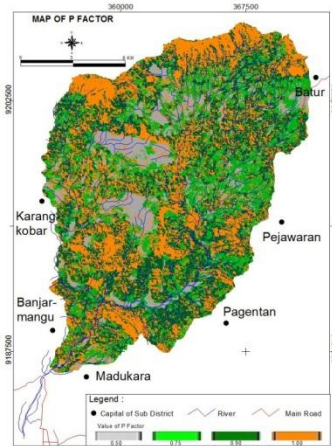
Gambar 4. Peta Faktor K



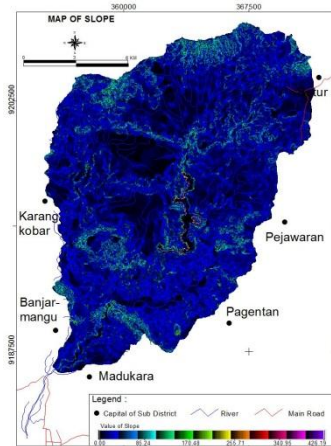
Gambar 5. Peta Faktor LS



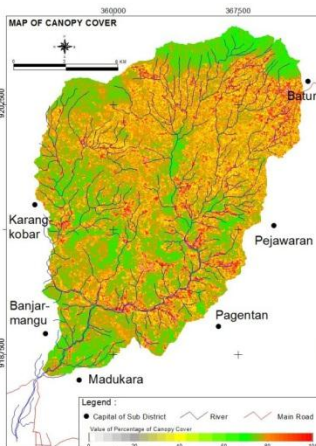
Gambar 6. Peta Faktor C



Gambar 7. Peta Faktor P



Gambar 8. Peta Slope



Gambar 9. Peta Persentase Tajuk

Tabel 1. Matriks Korelasi parameter TKL

	C	K	LS	P	Slope	% Canopy	R
C	1,00	0,09	-0,26	-0,32	-0,26	-1,00	-0,04
K	0,09	1,00	0,06	0,01	0,06	-0,09	0,21
LS	-0,26	0,06	1,00	0,39	0,99	0,26	0,01
P	-0,32	0,01	0,39	1,00	0,44	0,32	0,06
Slope	-0,26	0,06	0,99	0,44	1,00	0,27	0,03
% Canopy	-1,00	-0,09	0,26	0,32	0,27	1,00	0,04
R	-0,04	0,21	0,01	0,06	0,03	0,04	1,00

Tabel 1 menunjukkan bahwa hampir semua parameter TKL memiliki nilai korelasi yang **rendah** yaitu antara 0,01 (faktor P dan faktor K) dan 0,44 (faktor P dan Slope). Persentase Tutupan Tajuk memiliki nilai korelasi **negatif yang tinggi** dengan faktor C ($r = -1,00$), artinya peningkatan Persentase Tutupan Tajuk akan menyebabkan penurunan faktor C. Slope memiliki nilai korelasi **positif yang tinggi** dengan faktor LS ($r = 0,99$), artinya peningkatan Slope akan menyebabkan peningkatan faktor LS.

Renard *et al.* (1997) merumuskan faktor C yang akan dihitung dari perkalian Prior Land Use (PLU: Penggunaan Lahan Sebelumnya) dan Persentase Tutupan Tajuk yang dinilai untuk berbagai jenis tutupan (CC) dan tutupan permukaan (SC, Soil Cover). Ini berarti pencantuman Persentase Tutupan Tajuk dalam formula TKL menjadi berlebihan atau redundansi.

Faktor panjang dan kemiringan lereng (faktor LS) terdiri dari dua subfaktor, yaitu panjang lereng (L) dan kemiringan lereng (S). Panjang lereng (L) didefinisikan sebagai: "jarak dari titik asal aliran permukaan ke titik di mana setiap gradien lereng (S) berkurang cukup untuk awal pengendapan atau saat aliran terkonsentrasi di saluran yang ditentukan" (Wischmeier & Smith 1978). Artinya, pencantuman Slope dalam formula TKL juga menjadi berlebihan atau redundansi.

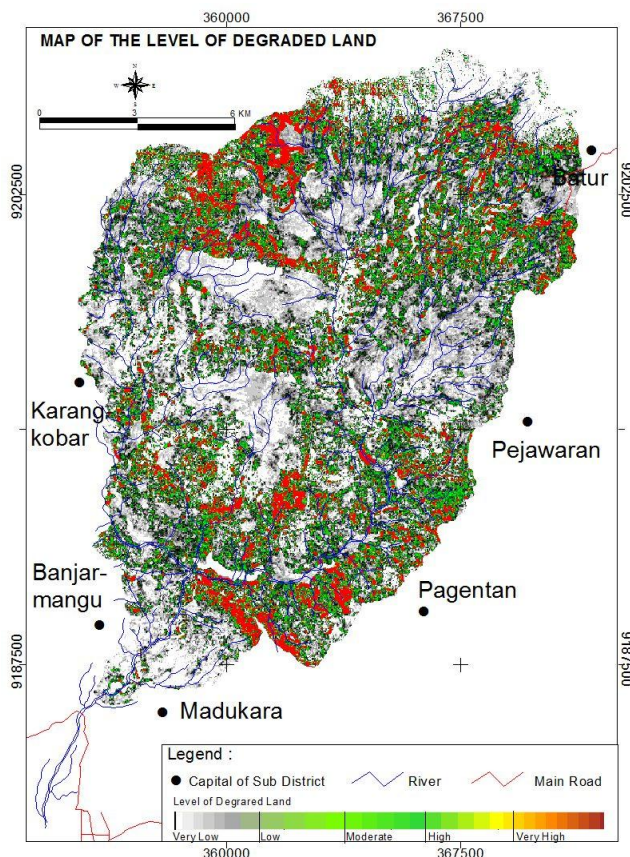
Berdasarkan hasil dan alasan tersebut maka disimpulkan bahwa Persentase Tutupan Tajuk sebaiknya tidak digunakan bersamaan dengan faktor C dalam penentuan TKL, demikian juga bahwa Slope sebaiknya tidak digunakan bersamaan dengan Faktor LS. Oleh karena itu, formula penentuan TKL sebaiknya hanya menggunakan parameter model USLE karena model USLE telah mempertimbangkan semua aspek biofisik yang mempengaruhi TKL. Dengan demikian, model yang direvisi untuk menghitung TKL adalah:

$$\text{TKL} \approx \text{Erosi (A)} \approx R \times K \times \text{LS} \times C \times P \quad (8)$$

Model yang direvisi ini sejalan dengan kesimpulan yang dikemukakan oleh Abdurachman dan Sutono (2002) bahwa TKL di Indonesia terutama disebabkan oleh erosi akibat curah hujan yang tinggi dan intensitasnya. Terminologi erosi digunakan di seluruh dunia sebagai indikator terjadinya lahan kritis. Model ini identik dengan Tingkat Bahaya Erosi (TBE) yang dirumuskan dalam Surat Keputusan No. 041 / Kpts / V / 1998 dari Departemen Kehutanan Republik Indonesia saat itu. TBE diperoleh dengan cara

melakukan tumpang-susun peta rawan erosi yang diperoleh dari model USLE dengan peta kedalaman tanah.

Rata-rata kedalaman tanah di DAS Merawu adalah 2,16 m (**Sangat Dalam**). Oleh karena itu, model TKL yang direvisi dari studi ini hanya mempertimbangkan terjadinya erosi. Hasil dari model TKL yang telah direvisi ini disederhanakan menjadi 5 kelas berdasarkan Sturges 'Rule (Gambar. 10; Tabel 2).



Gambar 10. Peta hasil model TKL yang direvisi

Tabel 2. menunjukkan bahwa 2.151 ha (9,5%) DAS Merawu merupakan kawasan yang memiliki indeks vegetasi ≤ 0 . Kawasan tersebut merupakan kawasan berair. DAS Merawu memiliki lahan kritis seluas 15.891 ha (70%) dengan tingkat **Sangat Rendah** dan **Rendah**. Lainnya seluas 4.689 ha (20,6%) memiliki lahan kritis tingkat **Sedang**, **Tinggi** dan **Sangat Tinggi**.

Tabel 2. Luas tiap-tiap kelas TKL di DAS Merawu

No	Tingkat	Erosi (mm/tahun)	Luas (ha)	Luas (%)
1.	Sangat Rendah	0,01 to 1	12.470	54,9
2.	Rendah	1,01 to 2	3.421	15,1
3.	Sedang	2,01 to 3	1.714	7,5
4.	Tinggi	3,01 to 4	982	4,3
5.	Sangat Tinggi	> 4	1.993	8,8
6.	Kawasan dengan NDVI ≤ 0		2,151	9.5
Jumlah			22.734	100,0

KESIMPULAN

Dalam penentuan Tingkat Kekritisan Lahan (TKL), Persentase Tutupan Tajuk sebaiknya tidak digunakan bersamaan dengan faktor C dalam menentukan TKL. Demikian juga, Slope sebaiknya tidak digunakan secara bersamaan dengan Faktor LS. Dengan demikian skenario terbaik dalam penentuan TKL adalah dengan hanya menggunakan parameter erosi yang diturunkan dari model USLE. Model TKL hasil revisi menjadi:

$$\text{TKL (Tingkat Kekritisan Lahan)} \approx \text{Erosi} \approx R \times K \times LS \times C \times P$$

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman A, Sutono. 2002. Soil erosion control technology. Research and Development of Soil and Agro-climate. Bogor (ID): The Agency for Agricultural Research and Development.
- Aronoff S. 1989. Geographic Information Systems: a management perspective. Ottawa (CA): WDL Publication.
- Arsyad S. 2000. Konservasi tanah dan air. Bogor (ID): IPB Press.
- Asdak C. 2007. Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press.
- Bohre P, Chaubey OP. 2014. Restoration of degraded lands through plantation forests. GJSFR 14:18-27.
- Chang KT. 2008. Introduction to Geographic Information Systems. New York (US): McGraw-Hill International.
- DeMers MN. 2008. Fundamental of Geographic Information Systems. New York (US): John Wiley & Sons.
- Departemen Kehutanan. 1998. Guideline for the arrangement of planning for land rehabilitation in a watershed area. Jakarta (ID).
- Food Agricultural Organization [FAO]. 1994. Land degradation in South Asia: its severity, causes and effects upon the people. Rome (IT): World Soil Resources Reports.
- Fulazzaky MA, Gany AHA. 2009. Challenges of soil erosion and sludge management for sustainable development in Indonesia. J Environ Manage 90:2387-92.
- Fistikoglu O, Harmancioglu NB. 2002. Integration of GIS with USLE in assessment of soil erosion. Water Resour Manag 16:447-67.
- Gibbs HK, Salmon JM. 2015. Mapping the world's degraded lands. Appl Geogr 57:12-21.
- Gordon ND, McMohan TA, Finlayson BL. 1992. Stream hidrology: an introduction for ecologist. New York (US): John Wiley & Sons.
- Hadmoko DS. 2007. Toward GIS-based integrated landslide hazard assessment: a critical overview. *Indones J Geogr* 39:55-77.
- Hidayat L, Susanto S, Sudira P, Jayadi R. 2014. Penilaian Kinerja Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Berbasis Model Hidrologi Elementer Kasus: Daerah Tangkapan Air Waduk Mrica. *Agritech* 34: 337-346.

- International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. 2002. *Ilwis User's Guide*, Enschede (NL): ITC-ILWIS.
- Kartodihardjo H. 2008. *Management of natural resources and environment*. Bengkulu (ID): Universitas Bengkulu.
- Kementerian Kehutanan. 2009. *Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial tentang Pedoman Monitoring dan Evaluasi Daerah Aliran Sungai*, Nomor: P.04/V-Set/2009, Tanggal: 5 Maret 2009. Jakarta (ID).
- Lillesand TM, Kiefer RW, Chipman J. 2004. *Remote sensing and image interpretation*. Fifth edition. New York (US): John Wiley & Sons.
- Renard KG, Forster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC. 1997. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Washington DC (US): US Department of Agriculture.
- Silleos NG, Alexandridis TK, Gitas IZ, Perakis K. 2006. Vegetation indices: advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years. *Geocarto Int* 21:21-8.
- Sulistyo B, Gunawan T, Hartono, Danoedoro P. 2009. Toward a fully and absolutely raster-based erosion modeling by using RS and GIS. *Indones J Geogr* 41:149-70.
- Sulistyo B, Gunawan T, Hartono, Danoedoro P. 2011. Pemetaan faktor C yang diturunkan dari berbagai indeks vegetasi data penginderaan jauh sebagai masukan pemodelan erosi di DAS Merawu. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 18:68-78.
- Sulistyo B. 2011a. Pengaruh erosivitas hujan yang diperoleh dari rumus yang berbeda terhadap pemodelan erosi berbasis raster (Studi kasus di DAS Merawu, Banjarnegara, Jawa Tengah). *Agritech* 31:250-9.
- Sulistyo B. 2011b. The effect of choosing different contour interval on a fully raster-based erosion modeling (The case in Merawu Watershed, Banjarnegara, Central Java). *JTS* 16:258-66.
- Sulistyo B, Gunawan T, Hartono, Danoedoro P. 2013. Pemodelan persentase tajuk di DAS Merawu yang diturunkan dari berbagai indeks vegetasi data penginderaan jauh. *For Geo* 27:23-32.
- Sulistyo B. 2015a. Kajian perubahan tingkat kekritisian lahan sebagai akibat proses eliminasi unit lahan: studi kasus di kawasan pertambangan Danau Mas Hitam, Provinsi Bengkulu. Seminar Nasional Biodiversitas, University Club. Yogyakarta (ID): University of Gadjah Mada. p. 828-33.
- Sulistyo B. 2015b. Pemodelan faktor K berbasis raster sebagai masukan pemodelan erosi Di DAS Merawu, Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 22:240-6.
- Sulistyo B. 2016, The Effect of Choosing Three Different C Factor Formulae Derived From NDVI on a Fully Raster-Based Erosion Modeling, *2nd International Conference of Indonesian Society for Remote Sensing (ICOIRS)*, Published under licence by IOP Publishing Ltd, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol., 47, No. 1.
- Sulistyo B, Gunawan T, Hartono, Danoedoro P, Listyaningrum N. 2017. Absolute accuracy of the erosion model of DEM-NDVI and it's modification. *International Journal of Geoinformatics* 13:23-34.

- Tarigan SD. 2012. Methods for delineating degraded land at Citarum Watershed, West Java, Indonesia. *J Tropical Soils* 17:267-74.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington DC (US): USDA Agriculture Handbook No. 37.