

**PEMANFAATAN CITRA PENGINDERAAN JAUH DAN SISTEM INFORMASI
GEOGRAFIS UNTUK PEMETAAN EROSI DI DAS SERANG
KABUPATEN KULONPROGO**

Bagus Pamungkas
bpamungkas.geoug@gmail.com

Retnadi Heru Jatmiko
retnadi_geoug@yahoo.com

Abstract

*As a developing country and a tropical country, Indonesia experienced a fairly rapid land use changes that influence soil erosion. The objective of this research is to use remote sensing and GIS analysis on SPOT 5 imagery and spatial data support to construct a mapping of erosion raster based in Serang Watershed Kulonprogo Regency. Digital and statistical analysis of the spatial data is the mostly-used method for modeling erosion. Spatial data of erosion was determined by using MUSLE model developed by Snyder. Erosion MUSLE model formula is $A = R * K * LS * VM$. The accuracy of the mapping results K, LS, and VM factor are 70.38%, 81.5%, 81.9%, and 72.15% respectively. The result of erosion MUSLE model in Serang watershed at 2014 ranges from 0 to 8.85 Ton/Hectare/Year. The thickness erosion lies in the mountainous and hilly regions.*

Keywords : remote sensing, GIS, SPOT 5, MUSLE

Abstrak

Sebagai negara berkembang dan beriklim tropis, Indonesia mengalami perubahan pemanfaatan lahan cukup cepat yang berpengaruh pada terjadinya erosi tanah. Penelitian ini bertujuan memanfaatkan analisis penginderaan jauh dan SIG pada citra SPOT 5 dan data spasial pendukung untuk memetakan erosi berbasis *raster* di DAS Serang Kabupaten Kulonprogo. Analisis digital dan statistik terhadap data spasial merupakan mayoritas metode yang digunakan untuk pemodelan erosi. Penyusunan data spasial erosi menerapkan model MUSLE yang dikembangkan Snyder. Rumus Erosi model MUSLE adalah $A = R * K * LS * VM$. Hasil uji akurasi peta faktor K, LS, dan VM adalah 70,38%; 81,5%; 81,9%; dan 72,15%. Hasil model erosi MUSLE yang terjadi di DAS Serang tahun 2014 berkisar 0 sampai 8,85 Ton/Ha/Tahun. Tebal erosi terbesar terletak pada wilayah bergunung dan berbukit.

Kata kunci : penginderaan jauh, SIG, SPOT 5, MUSLE

PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu kesatuan ekosistem wilayah yang sangat kompleks mulai dari zona hulu, tengah, dan hilir yang mempunyai fungsi ekologis sangat bermanfaat bagi lingkungan natural dan budaya. Daerah Aliran Sungai secara fisik merupakan suatu wilayah daratan secara topografi dibatasi oleh punggung-punggungan pegunungan/perbukitan yang menampung dan mengalirkan air hujan yang kemudian mengalir ke laut melalui sungai utama (Asdak, 2010). Juhadi (2007) memaparkan dalam penelitiannya, era otonomi daerah yang terus berlaku sampai saat ini membuat daerah-daerah di Indonesia bersaing dalam meningkatkan PAD (Pendapatan Asli Daerah) untuk megembangkan kemajuan daerahnya. Daerah yang memiliki sumberdaya alam yang melimpah maupun yang terbatas kerap kali kurang memerhatikan aspek kelestarian lingkungan, aspek keberlanjutan, dan aspek pemanfaatan di masa mendatang. Apabila terjadi perubahan pemanfaatan lahan yang cepat di bagian hulu yang tidak mempertimbangkan aspek lingkungan, maka dimungkinkan akan terjadi kerusakan lahan. Dampak ini menyebabkan terjadinya erosi, longsor, dan berdampak pada kebijakan/pengambilan keputusan pengelolaan lingkungan DAS. Fenomena yang demikian telah terjadi merata di seluruh wilayah Indonesia, termasuk DAS Serang, Kabupaten Kulonprogo (Juhadi, 2007).

Perubahan pemanfaatan lahan yang berdampak pada terbukanya tutupan lahan seperti vegetasi berkayu yang sangat ideal untuk menahan erosititas dari intensitas hujan. Lahan terbuka kemungkinan besar akan mengalami erosi yang intensif dan tinggi daripada lahan yang tertutup vegetasi lebat, terutama pada lahan yang terjal. Lahan yang tererosi secara berlebihan menyebabkan kondisi DAS tersebut menjadi kritis karena siklus hidrologi tidak dapat berjalan dengan baik. Sejak tahun 1984 hingga tahun 2007, DAS yang dinyatakan dalam kondisi kritis berjumlah 72 DAS (Utomo, 1989; Kartodiharjo, 2008; dalam Sulisty, 2011). Sebagian besar DAS Progo-Opak-Serang (D.I. Yogyakarta) termasuk dalam kondisi DAS Prioritas 1, yaitu DAS sangat kritis, yang perlu segera ditangani (Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 590/KPTS/M/2010).

Usaha memperbaiki kondisi lingkungan yang kritis melalui berbagai program rehabilitasi membutuhkan informasi yang akurat, cepat, dan tepat. Informasi tersebut membutuhkan pendekatan yang benar-benar merepresentasikan kondisi di lapangan dengan baik. Salah satu informasi yang sangat dibutuhkan dalam manajemen DAS adalah data sebaran erosi dan besarnya erosi. Sejak terapan ilmu penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG) dianggap suatu cara yang dapat membantu merepresentasikan berbagai kajian terkait fenomena geografis, sejak saat itu juga perkembangan tentang pengkajian fenomena erosi pada suatu wilayah juga berkembang. Apabila informasi erosi aktual diturunkan dari data yang langsung diperoleh dari lapangan akan membutuhkan usaha yang berat dan waktu yang lama. Pemanfaatan ilmu dan data penginderaan jauh dan SIG berperan penting dalam membantu memetakan sebaran dan besarnya erosi yang terjadi di suatu DAS.

DAS Serang di Kabupaten Kulonprogo merupakan salah satu DAS yang terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. DAS Serang merupakan DAS yang luasnya relatif sempit (± 25.589 Ha) dibandingkan dua DAS lainnya yang ada di provinsi DIY yaitu DAS Progo dan DAS Opak. Berdasarkan luasan DAS yang relatif sempit pemetaan erosi berbasis *raster/grid* kemungkinan akan lebih efektif dalam mengkaji erosi di DAS Serang. Fistikoglu dan Harmancioglu (2002 dalam buku Sulisty, 2011) menyatakan bahwa penggunaan basis data *grid (raster)* yang lebih sempit akan lebih tepat untuk diterapkan pada metode USLE untuk memetakan sebaran erosi dengan alasan bahwa USLE pada dasarnya dikembangkan pada kawasan yang sempit dan pengukuran geometri (luas, panjang, lebar) pada suatu wilayah dapat terukur dengan lebih mudah dan akurat dengan data *grid/piksel*. Distorsi faktor-faktor R, LS, K, dan CP akan semakin berkurang sensitivitasnya apabila menggunakan *grid* yang besar atau generalisasi pada pemetaan berbasis *vektor*. Telah tersediannya citra satelit dengan karakteristik yang baik seperti citra SPOT 5 dapat dimanfaatkan untuk mengkaji fenomena erosi di DAS Serang yang lebih efektif, akurat, dan dapat mewakili faktor erosi melalui berbagai metode analisis citra. USLE (*Univesal Soil Loss Equation*) merupakan

metode paling populer diterapkan untuk memprediksi sebaran erosi di berbagai negara di dunia termasuk Indonesia. Realita yang terjadi di Indonesia tentang penerapan USLE untuk kajian erosi memerlukan lebih banyak koreksi dan modifikasi yang disesuaikan dengan karakteristik medan di Indonesia serta mempertimbangkan efektivitas biaya, usaha, dan waktu. USLE dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1978) di daerah pertanian Amerika Utara dengan karakter iklim sedang, intensitas hujan rata-rata rendah, kondisi topografi homogen (kisaran kemiringan lereng 3-18%) dengan panjang lereng kurang lebih 120 meter, dan sistem konservasi lahan yang konsisten (Asdak, 2010). Kemudian, pemetaan USLE menggunakan SIG yang dominan berbasis data vektor terjadi distorsi yang cukup signifikan karena analisisnya dilakukan penyederhanaan, baik rumus maupun prosedurnya serta dipengaruhi faktor subjektivitas pengolah model, sehingga hasilnya mempunyai ketidakpastian yang tinggi (Eweg *et al.*, 1998; dalam Sulisty, 2011). Kemudian, penerapan metode MUSLE (*Modified Soil Loss Equation*) dari Snyder (1980) diharapkan juga akan berperan efektif dibandingkan metode USLE sebelumnya karena luasan lahan non-pertanian di Kabupaten Kulonprogo hingga tahun 2004 masih lebih luas dibandingkan lahan pertanian.

Pemanfaatan citra satelit SPOT 5 dan analisis data spasial menggunakan sistem informasi geografis merupakan fokus utama kajian dalam memetakan estimasi besar dan sebaran erosi di DAS Serang. Citra Satelit SPOT 5 yang merupakan data berbasis raster digunakan untuk memperoleh data faktor penentu terjadinya erosi di lapangan. Melalui pengolahan citra SPOT 5 dengan menerapkan berbagai metode seperti klasifikasi multispektral dan transformasi citra dapat dijadikan dasar perolehan data spasial faktor penentu erosi. Analisis data spasial seperti titik ketinggian, kontur permukaan bumi, dan lokasi yang beratribut data rasio (data intensitas hujan) menggunakan sistem informasi geografis juga dapat membantu dalam memperoleh data spasial faktor penentu erosi berbasis raster. Penggunaan data spasial berbasis raster bertujuan untuk menonjolkan distribusi fenomena spasial yang bervariasi secara lebih baik dan meningkatkan kualitas

pengukuran geometri fenomena spasial karena ukuran piksel/grid yang jelas sehingga meminimalkan aspek subjektivitas.

Penggunaan model erosi MUSLE diharapkan dapat berperan lebih efektif dan efisien digunakan pada wilayah DAS Serang yang memiliki kondisi fisiografis dan kondisi penggunaan lahan yang cukup heterogen. Beberapa parameter penentu erosi MUSLE seperti faktor erodibilitas (K) dan faktor manajemen tanaman (VM) di lapangan dianalisis keterkaitannya dengan hasil transformasi citra untuk mengetahui indeks lapisan bahan organik (BSCI) dan indeks vegetasi (NDVI, MSAVI, TVI) menggunakan analisis statistik regresi linear. Beberapa parameter penentu erosi MUSLE yang lain seperti faktor erosivitas (R) dan faktor kemiringan dan panjang lereng (LS) dibuat melalui analisis data spasial rasio menggunakan teknik interpolasi spasial agar didapat data berbasis raster/grid.

Hal terpenting dalam penelitian adalah uji akurasi tiap peta faktor erosi berbasis raster yang didapatkan dari analisis citra SPOT 5 dan SIG untuk mendapatkan evaluasi seberapa besar peranan data penginderaan jauh dan SIG dapat mengabstraksikan fenomena erosi di DAS Serang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini terbagi menjadi tiga tahap utama pengolahan dan analisis data yang dilakukan. Tahap pertama yaitu pra-pengolahan data citra SPOT 5, tahap kedua berupa pembuatan peta faktor erosi, dan tahap ketiga yaitu analisis dan pemodelan erosi MUSLE.

Tahap pra-pengolahan data SPOT 5 data citra SPOT 5 perlu mengetahui secara umum karakteristik citra SPOT 5 dan kemampuan citra satelit dalam menghasilkan peta/model dengan batasan skala tertentu (*lihat tabel 1 dan 2*).

Tabel 1. Karakteristik citra SPOT 5

Mode Spektral	Saluran	Resolusi Spasial (m)	Resolusi Temporal	Orbit	Julat panjang gelombang (μm)
XS 1	Hijau	10	26 hari revisit	822 km, sinkron matahari, melewati ekuator pukul 10.30 pagi, Pushbroom	(0,5-0,59)
XS 2	Merah	10			(0,61-0,68)
XS 3	Inframerah dekat	10			(0,79-0,89)
XS 4	Inframerah Tengah	10			(1,58-1,75)
Pan	Pankromatik	2,5			(0,48-0,71)

Sumber : Lillesand *et al.* (2004 dalam Danoedoro, 2012) dan header citra SPOT 5

Tabel 2. Kemampuan resolusi spasial citra dalam menghasilkan peta.

Skala Peta	Resolusi spasial		Interval Kontur
	m/pasang garis	m/piksel	
1.000.000	250	100	100
500.000	150	50	50
250.000	63	25	25
100.000	25	10	20
50.000	12,5	5	10
25.000	6,3	2,5	5

Sumber : Doyle (1984, dalam Sutanto, 2012)

SPOT 5 saluran multispektral memiliki resolusi spasial 10 meter relevan untuk menghasilkan peta dengan skala 1 : 100.000 atau lebih kecil. Apabila menggunakan atau menghasilkan data tambahan seperti data kontur, maka membutuhkan data kontur yang memiliki interval kontur 20 meter.

Pra-pengolahan data citra SPOT 5 meliputi koreksi radiometrik dan geometrik. Koreksi radiometrik SPOT 5 digunakan untuk mengkonversi nilai digital citra yang berkisar dari 0-255 menjadi nilai yang mewakili energi pantulan dari objek yang terekam satelit (ρ^k TOA) (lihat rumus 1 dan 2).

$$L^k\text{TOA} = \frac{X^k}{A^k \cdot G^k_m} \dots \dots \dots (1)$$

$L^k\text{TOA}$ = koreksi pengaruh atmosfer (*Top Of the Atmospher*)

X^k = saluran/nilai spektral citra

$A^k \cdot G^k_m$ = nilai tetapan gain fisik (*physical gain*) pada metadata citra

$$\rho^k \text{TOA} = \frac{\pi \cdot L^k\text{TOA} \cdot d^2}{E^k_s \cdot \cos \theta_s} \dots \dots \dots (2)$$

$\rho^k \text{TOA}$ = koreksi energi pantulan yang direkam sensor

π = tetapan biasa didefinisikan 3,14

$L^k\text{TOA}$ = hasil koreksi pengaruh atmosfer (*Top Of the Atmospher*)

d = unit astronomis yang mendefinisikan jarak bumi dengan matahari pada sistem hari Julian

E^k_s = nilai rata-rata ekso-atmosfer irradians citra SPOT 5

θ = sudut solar zenit

Koreksi geometrik citra SPOT 5 menggunakan metode koreksi *image to map* atau koreksi citra terhadap peta. Peta acuan yang digunakan adalah peta Rupa Bumi Indonesia skala 1 : 25.000 lembar Temon, Brosot, Bagelen, Wates, dan Sendangagung.

Penentuan batas DAS Serang menerapkan metode interpretasi visual data citra SPOT 5, data kontur, dan data TIN (*Triangulated Irregular Network*). Selanjutnya pembuatan peta penggunaan lahan dan bentuklahan. Pembuatan peta penggunaan lahan menggunakan metode klasifikasi terselia (*supervised classification*) citra SPOT 5 mengadaptasi sistem klasifikasi penutup lahan Malingreau (1978) dan peta bentuklahan dibuat dengan metode interpretasi visual mengandalkan rekayasa kenampakan komposit yang dapat dilakukan pada citra SPOT 5

mengadaptasi sistem klasifikasi satuan bentuklahan Verstappen (1983). Peta penggunaan lahan dan bentuklahan dibuat untuk membantu pengambilan sampel data dilapangan. Data sampel yang diambil dilapangan meliputi data sampel tanah untuk pengukuran faktor erodibilitas (K), data kemiringan lereng (S), data arah hadap lereng, data kerapatan kanopi pohon, ketinggian pohon, dan kerapatan tumbuhan permukaan tanah untuk pengukuran faktor manajemen vegetasi (VM). Cara penentuan lokasi pengambilan sampel data menggunakan metode *purposive sampling* yaitu pengambilan sampel berdasarkan peta penggunaan lahan dan bentuklahan yang dihasilkan mempertimbangkan aksesibilitas, kondisi medan, dan keunikan objek tertentu di lapangan.

Tahap pembuatan peta berbasis *raster* faktor erosi berupa faktor erosivitas (R), faktor erodibilitas (K), faktor manajemen vegetasi (VM), dan faktor panjang dan kemiringan lereng (LS). Peta faktor R dibuat dengan metode interpolasi spasial *kriging* data erosivitas yang diukur dari data curah hujan 9 stasiun pengamatan hujan milik BMKG yang terletak di DAS Serang dan sekitarnya (Borroarea, Hargorejo, Plaosan, Ngombol, Banyuurip, Banyuasin, Kenteng, Gembongan, dan Sapon). Perhitungan erosivitas menggunakan rumus yang dikembangkan Bols tahun 1978 (lihat rumus 3).

$$R = 6,12 (\text{RAIN})^{1,21} (\text{DAYS})^{-0,47} (\text{MAXP})^{0,53} \dots \dots \dots (3)$$

R = erosivitas hujan rata-rata bulanan

RAIN = hujan rata-rata tahunan(cm)

DAYS = jumlah hari hujan rata-rata per tahun (hari)

MAXP = curah hujan maksimum rata-rata dalam sehari per bulan dalam kurun waktu satu tahun (cm)

Pembuatan peta faktor K menggunakan metode konversi nilai indeks lapisan bahan organik tanah (BSCI) dari citra SPOT 5 menjadi nilai K berdasarkan persamaan yang dihasilkan dari analisis regresi linear statistik. Regresi linear melibatkan dua variabel yaitu variabel terikat/respon dan variabel bebas/prediktor. Nilai K yang didapat dari data sampel tanah di lapangan merupakan variabel terikat dan BSCI merupakan variabel bebas. Rumus BSCI merupakan rumus yang dikembangkan Chen *et al.* (2005) dan data K dari sampel tanah di lapangan dihitung menggunakan rumus yang dikembangkan Wischemeier *et al.* (1971) (lihat rumus 4 dan 5).

BSCI = $[1 - L \times (BV \text{ merah} - BV \text{ hijau})] / [(BV \text{ hijau} + BV \text{ merah} + BV \text{ inframerah dekat}) / 3]$(4)
 BV = *Brightness Value* atau nilai piksel

L = faktor penyesuaian untuk memperkuat perbedaan BV merah dengan BV hijau, nilai berkisar 1-4

K = $(0,000271 \times (12 - OM) \times M^{1,14} + 3,25 \times (S - 2) + 2,5 \times (P - 3)) / 100$(5)
 K = erodibilitas tanah

OM = persen unsur organik

S = klasifikasi nilai struktur tanah

P = permeabilitas tanah

M = persentase ukuran partikel (%debu + %pasir sangat halus) x (100-%lempung)

Pembuatan peta faktor VM menggunakan metode konversi nilai indeks vegetasi (TVI, NDVI, MSAVI) (*lihat rumus 6, 7, dan 8*) dari citra SPOT 5 menjadi nilai VM berdasarkan persamaan yang dihasilkan dari analisis regresi linear statistik. Regresi linear melibatkan dua variabel yaitu variabel terikat/respon dan variabel bebas/prediktor. Nilai VM yang didapat dari data sampel pengukuran kerapatan vegetasi kanopi dan permukaan tanah di lapangan merupakan variabel terikat dan indeks vegetasi merupakan variabel bebas. Nilai VM dari sampel kerapatan vegetasi di lapangan ditentukan menggunakan pedoman yang dibuat *U.S. Soil Conservation Service* (1977) (*lihat tabel 3*).

Tabel 3. Pedoman nilai VM *U.S. Soil Conservation Service*

Vegetasi Penutup		Tubuhan Bawah						
Tipe dan tinggi tajuk ¹	Tajuk penutup ²	Tipe ³	Persen penutup (%)					
			0	20	40	60	80		95-100
Kondis tanpa tajuk	0	G	0,45	0,2	0,1	0,042	0,013	0,003
		W	0,45	0,24	0,15	0,09	0,043	0,011
Semak belukar rendah (0,5 meter dari tanah)	25	G	0,36	0,17	0,09	0,038	0,012	0,003
		W	0,36	0,20	0,13	0,082	0,041	0,011
	50	G	0,26	0,13	0,07	0,035	0,012	0,003
		W	0,26	0,16	0,11	0,075	0,039	0,011
	75	G	0,17	0,1	0,06	0,031	0,011	0,003
		W	0,17	0,12	0,09	0,038	0,038	0,011
Semak atau tanaman bawah lainnya (2 meter dari tanah)	25	G	0,4	0,18	0,09	0,04	0,013	0,003
		W	0,4	0,22	0,14	0,085	0,042	0,011
	50	G	0,34	0,16	0,085	0,038	0,012	0,003
		W	0,34	0,19	0,13	0,081	0,041	0,011
	75	G	0,28	0,14	0,08	0,036	0,012	0,003
		W	0,28	0,17	0,12	0,077	0,04	0,011
Pohon-pohon dengan sedikit semak (> 4 meter dari tanah)	25	G	0,42	0,19	0,1	0,041	0,013	0,003
		W	0,42	0,23	0,14	0,087	0,042	0,011
	50	G	0,39	0,18	0,09	0,04	0,013	0,003
		W	0,39	0,21	0,14	0,085	0,042	0,011
	75	G	0,36	0,17	0,09	0,039	0,012	0,003
		W	0,36	0,20	0,13	0,083	0,041	0,011
Tajuk Efektif ¹ (%)		Seresah Hutan ² (%)		Nilai VM ³				
100-75		100-90		0,0001-0,001				
75-40		85-75		0,002-0,004				
35-20		70-40		0,003-0,009				

NDVI = $(IMD - M) / (IMD + M)$ (6)

MSAVI = $IMD + c - \text{Sqrt} \{ (IMD + c)^2 - 2 (IMD - M) \}$(7)

TVI = $\text{Sqrt} \{ (IMD - M) / (IMD + M) + 0,5 \}$ (8)

IMD = Saluran inframerah dekat

M = Saluran merah

c = Nilai koefisien untuk memperkecil variasi nilai kalibrasi tanah

Peta faktor panjang dan kemiringan lereng dibuat dengan menggunakan pemodelan tiga dimensi SIG data DEM (*Digital Elevation Model*). Data DEM *raster* resolusi spasial 10 meter dibuat dari data kontur dengan interval 12, 5 meter dan 6,25 meter. Data DEM dibuat faktor kemiringan lereng (S) dalam persen (%). Faktor panjang lereng (L) didapatkan dari model tiga dimensi arah hadap lereng (*aspect*). Lereng yang menghadap utara, timur, selatan, dan barat diasumsikan memiliki panjang yang sama dengan sisi piksel yaitu 10 meter. Lereng yang menghadap timur laut, tenggara, barat daya, dan barat laut diasumsikan sama dengan panjang diagonal piksel yaitu 14 meter. Perhitungan faktor LS menggunakan rumus yang dikembangkan Schwab *et al.* (1981) (*lihat rumus 9 dan 10*).

S = $(0,43 + 0,3 s + 0,04 s^2) / 6,61$(9)

LS = $\sqrt{\{ (L_a) \times (1,38 + 0,965 S + 0,138 S^2) / 100 \}}$(10)

L_a : Panjang lereng (dalam meter);

s : sudut kemiringan lereng aktual (%)

S : sudut kemiringan hasil formulasi (%)

Uji akurasi peta faktor erosi diukur menggunakan rumus *standart error* (*lihat rumus 11*) apabila peta berinformasi data rasio/angka/indeks, sedangkan faktor yang berinformasi data diskrit/keterangan deskripsi diukur menggunakan tabel *confusion matrix* (*lihat tabel 4*).

SE = $\sqrt{\{ \sum (y - y')^2 / (\sum s - 2) \}}$(11)

y = nilai parameter di lapangan

y' = nilai parameter hasil faktor model erosi

Σs = Jumlah sampel

Tabel 4. *Confusion matrix*

Hasil Klasifikasi	Data lapangan				ΣBaris	Produser Akurasi	User Akurasi
	1	2	.....	i			
1	X11	X12	.....	Xi1	X1+	X11/X+1	X11/X1+
2	X21	X22	.....	Xi2	X2+	X22/X+2	X22/X2+
.....
i	Xi1	Xi2	.....	Xii	Xi+	Xii/X+1	Xii/Xi+
ΣKolom	X+1	X+2	.....	X+i	n		

Sumber : Stehman dan Czaplewsky (1997, dalam Sulistyio 2011)

Overall Accuracy = $(\sum X_{ii} / n) \times 100\%$ dengan i = 1,.....,n

Omission Error = 100% - Produser akurasi

Commission Error = 100% - User Akurasi

Pemodelan erosi (A) MUSLE yang dikembangkan Snyder (1980) merupakan operasi perkalian antara faktor R x K x LS x VM. Operasi perkalian tersebut dapat

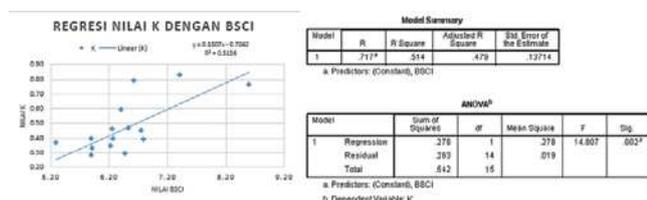
dilakukan pada SIG dengan *raster calculator*. Hasil dari operasi model MUSLE memiliki satuan ton/ha/tahun. Karena data utama yang digunakan dalam tempo satu tahun yaitu tahun 2014, maka peta erosi yang digunakan merupakan erosi yang terjadi pada tahun 2014 di DAS Serang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat empat belas kelas penggunaan lahan yang dapat terklasifikasi melalui citra SPOT 5. 64 sampel penggunaan lahan digunakan untuk uji akurasi. Uji akurasi penutup/penggunaan lahan sebesar 81,25% dan nilai kappa sebesar 78,35 %. Berdasarkan hasil tersebut peta penggunaan lahan yang dihasilkan pada skala 1:100.000 masih relevan digunakan untuk tahap analisis selanjutnya.

Terdapat empat kelas bentuklahan di DAS Serang. Pengecekan lapangan dilakukan pada 60 lokasi di lapangan untuk mengetahui tingkat akurasi hasil interpretasi bentuklahan. Uji akurasi keseluruhan sebesar 86,67% dan nilai akurasi kappa sebesar 84,57 %. Berdasarkan hasil tersebut peta bentuklahan yang dihasilkan pada skala 1 : 100.000 cukup relevan digunakan untuk tahap analisis selanjutnya.

Faktor erosivitas hujan (R) sebenarnya masih kurang baik digunakan karena data curah hujan hanya dari sembilan stasiun pengamatan hujan di DAS Serang dan sekitarnya. Kondisi topografi DAS Serang yang cukup heterogen, idealnya data curah hujan yang digunakan untuk menentukan erosivitas harus lebih banyak. Pengukuran secara langsung sebenarnya dapat dilakukan tetapi membutuhkan waktu dan usaha yang tidak sedikit.



Gambar 1. Hasil regresi BSCI dengan Faktor K

Hasil regresi linear BSCI dengan faktor K menghasilkan nilai korelasi (R) sebesar 0,712 (*lihat gambar 1*), yang artinya faktor erodibilitas tanah memiliki keterkaitan cukup erat dengan indeks BSCI. Hasil uji akurasi nilai erodibilitas model adalah 70,38%. Sampel nilai K yang digunakan untuk uji

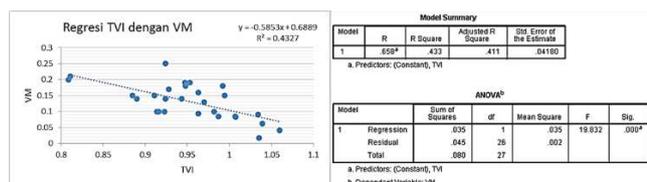
akurasi model berjumlah 16 sampel. Berdasarkan beberapa penelitian terkait ekstraksi informasi dari sumber data penginderaan jauh apabila nilai akurasi belum sampai 80-85% maka metode ekstraksi data penginderaan jauh tersebut belum layak diterapkan pada penelitian lanjutan. Belum baiknya hasil peta faktor erodibilitas ada beberapa kemungkinan atau analisis yang dapat dikaitkan. Kemungkinan yang pertama, yaitu pada dasar pengembangannya transformasi indeks lapisan bahan organik tanah (BSCI) diterapkan pada citra Landsat 7 ETM+ dan bukan pada citra SPOT 5 sehingga hasilnya masih memerlukan banyak kajian, koreksi, dan penyesuaian lebih lanjut bila akan digunakan pada citra satelit lain meskipun pada dasarnya memiliki julat spektral yang sama. Kemudian, kemungkinan kedua karena pengembangan transformasi BSCI digunakan untuk identifikasi lapisan bahan organik (sejenis lumut, alga, jamur, dan mikroba organik) pada tanah/lahan yang terletak di wilayah beriklim kering (gurun) dan bukan dikembangkan pada lahan tropis sehingga hasilnya masih perlu dikaji lebih lanjut. Kemungkinan ketiga adalah pada dasarnya nilai erodibilitas tanah merupakan hasil analisis dari pengaruh empat komponen tanah (tekstur, struktur, permeabilitas, dan kandungan bahan organik) sehingga secara substansi lapisan bahan organik dalam bentuk indeks belum dapat mewakili aspek erodibilitas tanah dengan hasil yang ideal. Kemungkinan terakhir terletak pada jumlah sampel tanah yang digunakan untuk penentuan erodibilitas dan analisis regresi dengan BSCI jumlahnya masih terlalu sedikit sehingga hasilnya masih belum ideal. Beberapa kemungkinan tersebut dapat dijadikan evaluasi pada penelitian ini.

Model kemiringan lereng dan arah hadap lereng (8 arah mata angin) diuji akurasinya dengan pengamatan langsung kondisi di lapangan. Sampel pengamatan uji akurasi model LS di lapangan berjumlah 40 sampel. Hasil uji akurasi arah hadap lereng dan kemiringan lereng bernilai lebih dari 81,47% dan 81,9%. Hasil tersebut relevan untuk digunakan untuk pengolahan data berikutnya.

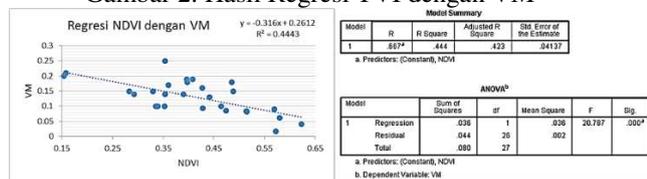
Berdasarkan penggunaan lahan di DAS Serang dan pengamatan langsung di lapangan, kondisi lahan mayoritas di DAS Serang telah menjadi bagian penting bagi aktivitas manusia.

Kebun campuran yang ada di DAS Serang mayoritas merupakan kebun rakyat. Lahan dengan kemiringan lereng sedang sampai tinggi di DAS Serang sebagian besar juga telah menerapkan teknik konservasi lahan terasering. Fakta tersebutlah yang mendasari bahwa penilaian faktor manajemen vegetasi di DAS Serang berpusat pada lahan yang terganggu aktivitas manusia.

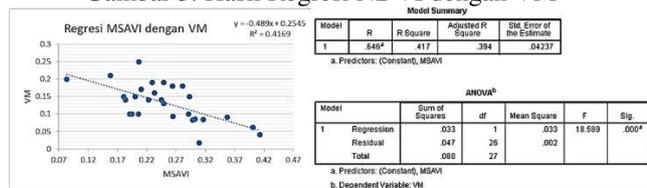
Pengukuran sampel kerapatan kanopi vegetasi, ketinggian vegetasi, dan kerapatan tutupan vegetasi/seresah permukaan tanah menggunakan metode pengamatan langsung di lapangan dan dibantu pengolahan fotografi. Pengamatan manajemen vegetasi dilakukan pada bulan September 2015 pada kondisi musim kemarau menyesuaikan dengan kondisi musim pada saat citra SPOT 5 direkam pada tanggal 24 Oktober 2014 menurut data hujan tahun 2014 masih belum turun hujan di sebagian besar stasiun pengamatan hujan di DAS Serang dan sekitarnya.



Gambar 2. Hasil Regresi TVI dengan VM



Gambar 3. Hasil Regresi NDVI dengan VM



Gambar 4. Hasil Regresi MSAVI dengan VM

Hasil regresi linear TVI, NDVI, MSAVI dengan faktor VM menghasilkan nilai korelasi (*R*) berturut-turut sebesar 0,658; 0,667; dan 0,646 (lihat gambar 2, 3, 4), yang artinya faktor erodibilitas tanah memiliki keterkaitan cukup erat dengan indeks BSCI. Hasil akurasi faktor VM dari TVI, NDVI, dan MSAVI berturut-turut yaitu 72,15%, 71,94%, dan 66,19%. Hasil akurasi ini menunjukkan bahwa peta faktor manajemen vegetasi berbasis raster yang dihasilkan dari indeks kerapatan vegetasi belum dapat dikatakan sangat baik untuk akurasi ekstraksi informasi melalui

penginderaan jauh. Hasil akurasi peta faktor VM dengan akurasi paling baik adalah peta yang dihasilkan dari NDVI, yang kemudian digunakan untuk pemetaan erosi akhir. Hasil akurasi faktor VM sepertinya berkaitan dengan keunggulan dan kelemahan penggunaan indeks vegetasi. VM dari MSAVI memiliki akurasi terendah dari indeks yang lain mungkin karena MSAVI melemahkan informasi latar belakang pantulan energi tanah sehingga informasi tutupan vegetasi permukaan tanah menjadi lemah. VM dari NDVI memiliki akurasi paling tinggi kemungkinan karena tingkat kedetilan/rentan nilai indeks lebih mewakili informasi kerapatan kanopi tegakan, tinggi tegakan, dan kondisi kerapatan tumbuhan permukaan tanah.

Kemudian hasil akurasi yang belum baik tersebut kemungkinan terdapat beberapa faktor penyebabnya. Kemungkinan pertama terletak pada jumlah sampel pengamatan faktor manajemen vegetasi yang masih sedikit dan kurang merata untuk analisis regresi dan uji akurasi, sehingga hasilnya belum ideal. Kemungkinan berikutnya, yaitu kurang baiknya teknik pengamatan/penilaian aspek faktor manajemen vegetasi (kerapatan kanopi, ketinggian pohon, dan kerapatan tumbuhan/seresah permukaan tanah) di lapangan. Pada penelitian ini pengamatan dan penilaian faktor manajemen vegetasi menggunakan metode teknik pengolahan fotografi digital dan interpretasi langsung di lapangan, sehingga menyebabkan kurang objektifnya hasil penilaian. Kemungkinan hasilnya akan lebih objektif kalau penilaian aspek faktor VM di lapangan menggunakan satu metode yang sama.

Cara mengetahui besaran erosi MUSLE Snyder 1980 (A) secara persamaan tersusun atas operasi matematis merupakan perkalian antara keempat faktor yaitu erodivitas (*R*), erodibilitas (*K*), panjang dan kemiringan lereng (*LS*), dan manajemen vegetasi (*VM*) (Lihat gambar 5). Satuan hasil besaran erosi yaitu Ton/Ha/Tahun, sedangkan unit pemetaan yang digunakan adalah piksel. Semua hasil parameter/faktor erosi MUSLE yang telah dihasilkan memiliki dimensi piksel 10x10 meter.

Hasil peta erosi di DAS Serang merupakan erosi yang terjadi pada tahun 2014 karena disesuaikan dengan data analisis utama yaitu citra SPOT 5 perekaman tahun 2014 dan

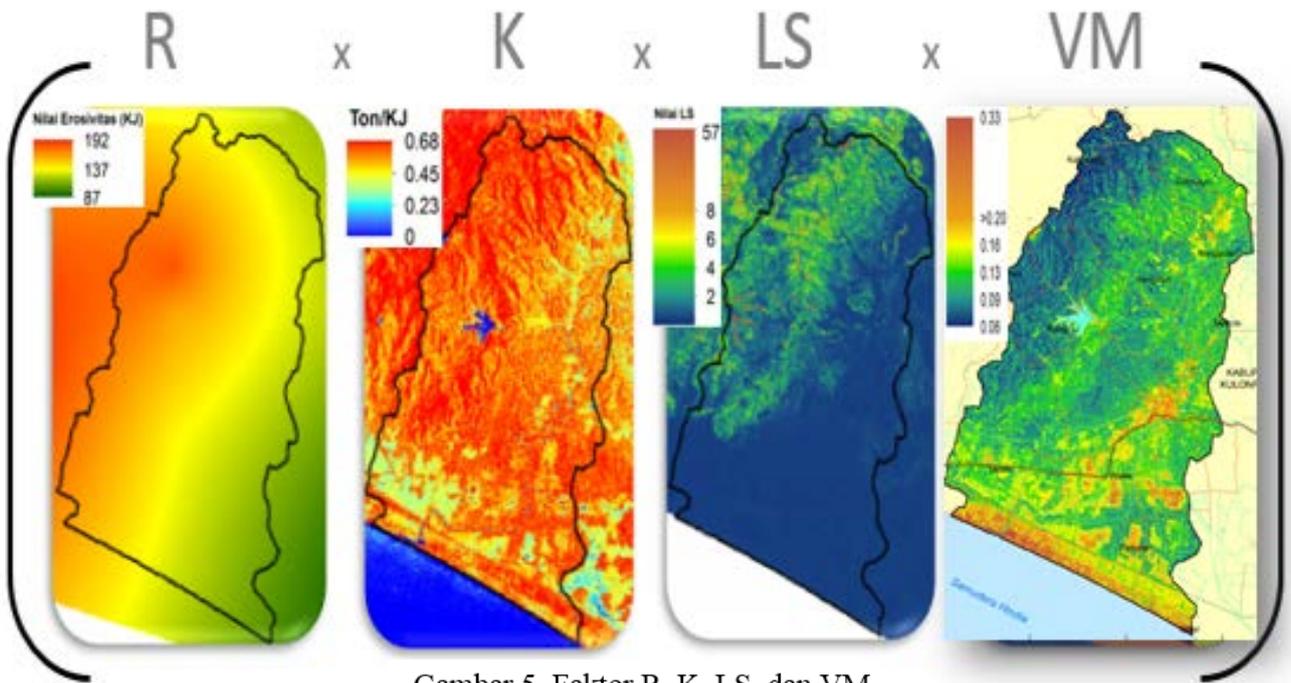
data lainnya yang juga diukur/diamati pada rentan waktu awal tahun 2015 dan pertengahan tahun 2015. Pengecekan hasil peta erosi idealnya dengan melakukan pengukuran erosi aktual di lapangan, tetapi cara tersebut membutuhkan usaha yang tidak sedikit. Salah satu cara analisis/interpretasi peta hasil erosi yang dapat dilakukan yaitu dengan melihat dan membandingkan kembali peta erosi dengan peta faktor R, K, LS, VM, peta penggunaan lahan, dan peta bentuklahan.

Berdasarkan hasil peta erosi di DAS Serang tahun 2014 berbasis raster (Lihat gambar 6), erosi paling tinggi di DAS Serang yaitu 8,85 Ton/Ha/Tahun, sedangkan terendah 0 Ton/Ha/Tahun. Besar erosi lebih dari 0,28 Ton/Ha/Tahun mayoritas terletak pada DAS bagian tengah ke arah barat memanjang dari utara ke selatan. Merujuk pada peta topografi yang diwakili peta faktor panjang lereng dan kemiringan lereng, bagian DAS Serang tengah ke arah barat memiliki topografi yang berbukit dan bergunung dengan kemiringan lereng terjal hingga curam. Kemungkinan erosi permukaan oleh proses hidrologi permukaan saat musim hujan juga besar pada kondisi lereng yang terjal daripada yang datar. Pada kondisi lereng yang terjal hingga curam (>20%) erosi tidak hanya dipengaruhi oleh tumbukan energi kinetik hujan terhadap tanah, tetapi juga dipengaruhi aliran permukaan yang terjadi. Evaluasi pada hasil pemetaan erosi ini yaitu belum melibatkannya faktor aliran permukaan, sehingga secara substansi belum cukup untuk merepresentasikan terjadinya fenomena erosi di lapangan.

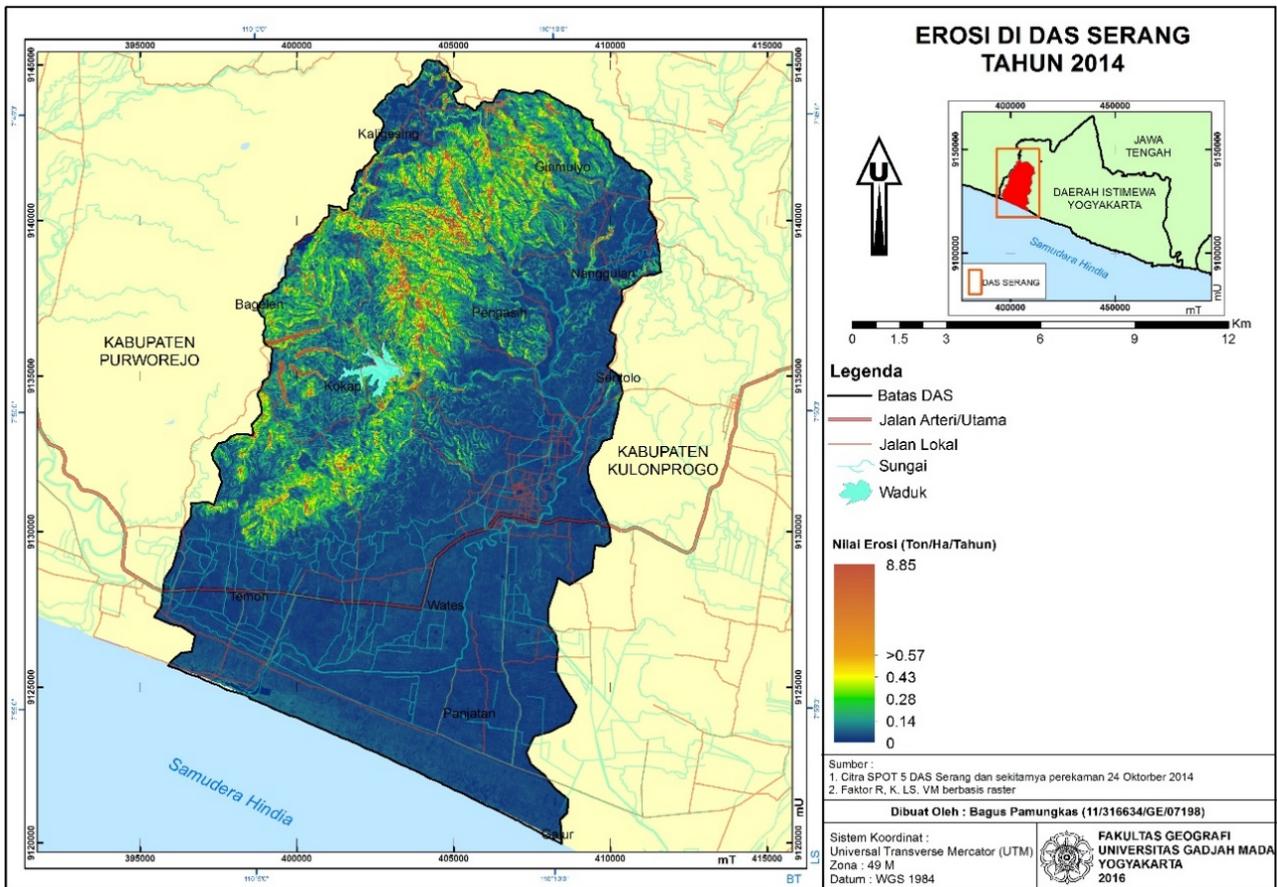
Melihat pada peta penggunaan lahan, bagian DAS tersebut mayoritas merupakan belukar dan kebun jati. Belukar dan kebun jati pada musim kemarau akan cenderung memiliki kerapatan vegetasi yang rendah, apabila pada awal musim hujan dengan kondisi demikian maka erosi pada lahan tersebut akan cenderung tinggi. Merujuk pada peta faktor erosivitas, pola sebaran nilai erosivitas yang tinggi selama tahun 2014 terletak pada bagian tengah ke arah barat. Secara general merujuk pada peta bentuklahan menunjukkan bahwa bentuklahan fluvial dan marin hasil erosinya kurang dari 0,28 Ton/Ha/Tahun, sedangkan bentuklahan lainnya hasil erosinya lebih dari 0,8 Ton/Ha/Tahun.

Merujuk pada analisis spasial terhadap masing-masing peta faktor penyusun erosi, tingkatan pengaruh faktor terhadap tingginya erosi yang terjadi di DAS Serang berturut-turut adalah faktor panjang dan kemiringan lereng, faktor erosivitas, faktor erodibilitas, dan faktor manajemen vegetasi.

Data erosi dari BPDAS tahun 2013 menggunakan model USLE berbasis *vektor* digunakan sebagai rujukan data pembanding. Berdasarkan dari data tersebut erosi total di DAS Serang pada tahun 2013 kurang lebih sebesar 1.570.307 Ton/Tahun. Kemudian hasil total erosi DAS Serang tahun 2014 berdasarkan hasil pemanfaatan model MUSLE berbasis *raster* kurang lebih sebesar 4.276.004 Ton/Tahun. Terdapat selisih yang cukup tinggi antara kedua data tersebut. Idealnya data validasi erosi yang digunakan adalah data erosi aktual yang diukur di lapangan langsung. Hasil perbandingan kedua data tersebut dapat dijadikan dasar evaluasi pemetaan erosi yang dihasilkan meskipun dari dua data tersebut belum dapat diketahui kesesuaiannya dengan erosi di lapangan. Evaluasi pada terapan model MUSLE yang dikembangkan Snyder tahun 1980 sebagai dasar pemetaan erosi berbasis raster di DAS Serang, yaitu merujuk pada perkembangan model MUSLE tidak hanya menggunakan faktor erosivitas, tetapi ditambah dengan faktor aliran permukaan. Kemudian faktor VM dianggap lebih efisien, tetapi konsepnya belum dapat mewakili faktor pengelolaan lahan dengan lebih detail. Namun dilihat dari perolehan informasi faktor penentu erosi dari pemanfaatan citra SPOT 5 dan SIG, hasilnya sudah cukup baik.



Gambar 5. Faktor R, K, LS, dan VM



Gambar 6. Peta Erosi di DAS Serang Tahun 2014

KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian:

1. Tingkat keterkaitan transformasi citra SPOT 5 (BSCI, TVI, NDVI, MSAVI) terhadap faktor manajemen vegetasi dan faktor erodibilitas tanah (K dan VM) relatif sedang yang ditunjukkan hasil nilai R analisis regresi linear berturut-turut yaitu 0,717; 0,658; 0,667; dan 0,646.
2. Akurasi faktor K dan VM yang dikonversi dari BSCI dan NDVI citra SPOT 5 bernilai cukup baik berturut-turut yaitu 70,38% dan 72,15%, selanjutnya akurasi faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) hasil analisis data spasial melalui SIG berbasis *raster* bernilai baik yaitu 81,5% dan 81,9%, sedangkan hasil analisis data erodibilitas (R) tidak dapat diuji akurasinya.
3. Hasil erosi berdasarkan peta erosi di DAS Serang tahun 2014 berkisar antara 0 sampai 8,85 Ton/Ha/Tahun dengan persebaran erosi relatif tinggi pada wilayah bertopografi pegunungan/perbukitan sedangkan erosi relatif rendah pada wilayah yang datar.

Saran dan evaluasi pada penelitian ini yaitu penelitian selanjutnya yang menggunakan data, metode, dan model erosi yang relatif sama sebaiknya menyempurnakan atau memperbaiki penentuan jumlah sampel, sebaran sampel, dan teknik pengukuran sampel untuk faktor penentu erosi dan uji akurasi peta faktor erosi yang dihasilkan. Pemanfaatan penginderaan jauh dan SIG untuk pemetaan erosi menggunakan MUSLE yang dikembangkan Snyder tahun 1980 perlu diuji model erosinya terhadap erosi aktual di lapangan agar implikasi hasil estimasi erosinya diketahui akurasi dan keefektifannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, Chay. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai* (Edisi ke lima/revisi). Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Broks, *et al.* (1982). *Economic Evaluation of Watershed Projects-An Overview Methodology and Application. Guidelines for Economic Appraisal of Watershed Management Projects.* Roma : FAO.
- Danoedoro, Projo. (2012). *Pengantar Penginderaan Jauh Digital.* Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Chen, Jin *et al.* (2005). A New Index For Mapping Lichen-Dominated Biological Soil Crusts In Desert Areas. *Science Direct Journal Remote Sensing of Enviroment* 96 : 165-175. China : Beijing Normal University.
- Dewa, Rizky Pranata. (2014). Pengaruh Koreksi Radiometrik dan Jumlah Strata Vegetasi Terhadap Nilai Akurasi Kerapatan Kanopi Vegetasi Menggunakan Beberapa Transformasi Indeks Vegetasi Pada Citra Landsat 8 OLI. *Skripsi.* Yogyakarta : Program Studi Kartografi dan Penginderaan Jauh Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Juhadi. (2007). Dinamika Pemanfaatan Lahan Pada Kawasan Perbukitan Kasus DAS Serang Kulonprogo. *Jurnal Geografi*, volume 4, nomor 2.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). *Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Progo-Opak-Serang : Keputusan Menteri Nomor 590/KPTS/M/2010.* Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum.
- Snyder, G. (1980). Evaluating Silvicultural Impacts on Water Resources. *Symposium on Project Areas, Technical Release No. 51.* Washington DC : U.S. Departement of Agriculture.
- Sulistyo, B. (2011). Pemodelan Spasial Lahan Kritis Berbasis *Raster* di DAS Merawu Kabupaten Banjarnegara Melalui Integrasi Citra Landsat 7 ETM+ dan Sistem Informasi Geografis. *Disertasi.* Yogyakarta : Program Pascasarjana Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Sulistyo, B. (2011). *Penginderaan Jauh Digital: Terapannya dalam Pemodelan Erosi Berbasis Raster.* Yogyakarta : Lokus.
- Sutanto. 2013. *Metode Penelitian Penginderaan Jauh.* Yogyakarta : Badan Penerbit Ombak.
- Wischmeier WH & Smith DD. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses : A Guide to Conservation Planning. *USDA Agriculture Handbook*, nomor 37.