



**ANALISIS LAHAN TERDEGRADASI DAS BRANTAS DAN UPAYA
PENANGGULANGANNYA UNTUK Mendukung REHABILITASI LAHAN**

(Degraded Land Analyses of Brantas River Basin to Support Land Rehabilitation)

Nining Wahyuningrum* dan Pamungkas Buana Putra

Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Solo
Jl. A. Yani, Pabelan, Kartasura, POBOX 295 Surakarta, 57102, Jawa Tengah, Indonesia

Article Info

Article History:
Received 29 March
2019; received in
revised form 12 July
2019; accepted 12 July
2019.
Available online since
30 August 2019

Kata Kunci:
DAS Brantas,
degradasi lahan,
rehabilitasi hutan dan
lahan

Keywords:
Brantas river basin,
land degradation,
forests and land
rehabilitation

ABSTRAK

Degradasi lahan di DAS Brantas terjadi sangat masif yang tercermin dari tingginya erosi dan sedimentasi. Nilai erosi penting untuk diketahui sebagai salah satu informasi dasar tentang degradasi lahan dalam suatu DAS. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis dan mengidentifikasi sebaran lahan terdegradasi di DAS Brantas sebagai upaya untuk penanggulangan degradasi lahan melalui rehabilitasi hutan dan lahan secara tepat sasaran. Analisis erosi dilakukan secara spasial dalam skala DAS menggunakan metode *Universal Soil Lost Equation* (USLE). Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai erosi tertimbang di DAS Brantas sebesar 448,73 ton/ha/tahun yang termasuk dalam klasifikasi tingkat erosi tinggi. Wilayah DAS Brantas seluas 408.818 ha (41,74%) merupakan lahan yang perlu penanganan erosi karena 22,51% termasuk dalam kategori nilai erosi tinggi dan 19,23% termasuk dalam nilai erosi sangat tinggi. Lahan-lahan tersebut teridentifikasi mempunyai penutupan lahan dengan fungsi hutan lindung, hutan produksi, tegal, dan kebun campuran. Jenis tanah dan erodibilitas menjadi sebagian penentu tingginya nilai erosi, namun demikian merupakan faktor yang sulit untuk dikelola. Jenis penutupan lahan dan pengolahan lahan menjadi faktor penyebab erosi yang mudah dikelola. Pendekatan rehabilitasi hutan dan lahan dapat digunakan sebagai salah satu upaya pencegahan dan penurunan erosi dengan memperhatikan pemilihan jenis yang terkait habitus (bentuk dan stratifikasi) dan nilai ekonomi

ABSTRACT

Land degradation in the Brantas River Basin occurs very massively as reflected by high erosion and sedimentation. Information related to soil erosion is important since it is one of the basic information in determining the degraded land in a watershed. The purpose of this study was to analyze and identify the distribution of degraded land in the Brantas river basin as an effort to mitigate land degradation through forests and land rehabilitation in suitable locations. Erosion analysis was carried out spatially on a watershed scale using the USLE (Universal Soil Lost Equation) method. Analyses showed that weighted soil erosion values in the Brantas river basin were 448.73 tons/ha/year which was classified as high erosion level. The area of 408,818 ha (41.74%) of Brantas river basin needs erosion handling because 22.51% was identified in the high erosion value category and 19.23% was included in very high erosion values. Those areas were identified as protected forests, production forests, dry land, and mixed gardens. The type of soil and the erodible of soil are part of the determinants of the high value of erosion, but these factors are difficult to manage while land cover types and land management which are the causes of erosion are relatively manageable. The approach to rehabilitate forests and land can be used as an effort to prevent and reduce erosion by taking into account the selection of related types of habitus (form and stratification) and economic value.

* Corresponding author. Tel: +62 271716709 Fax: +62 271716959
E-mail address: nining0709@yahoo.com (N. Wahyuningrum)

I. PENDAHULUAN

Erosi menjadi masalah utama lingkungan dan ekonomi yang sudah mendunia (Ozsahin *et al.*, 2018). Demikian juga di Indonesia, penurunan produktivitas lahan yang terjadi umumnya disebabkan oleh erosi. Erosi umumnya terjadi pada lahan pertanian tanaman pangan yang menyebabkan penurunan kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah. Unsur-unsur hara dan bahan organik tanah serta hasil tanaman berkurang sehingga lahan pertanian mengalami penurunan produktivitas (Kurnia *et al.*, 2010). Penurunan produktivitas ini merupakan salah satu tanda degradasi lahan. Namun demikian, penurunan produktivitas ini dapat bersifat tetap maupun sementara (Wahyunto & Dariah, 2014).

Degradasi lahan antara lain terjadi sebagai akibat dari penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan kemampuannya. Penggunaan lahan yang kurang tepat antara lain akan mengakibatkan erosi dan sedimentasi yang akan menurunkan produktivitas lahan (Wahyuningrum & Wardoyo, 2008). Selain itu degradasi lahan juga dapat disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan hutan menjadi penggunaan lahan lainnya (Munibah *et al.*, 2010). Erosi akan meningkat dengan adanya konversi hutan menjadi penggunaan lainnya. Selain itu, alih fungsi lahan juga berdampak pada tingginya aliran permukaan karena penurunan kemampuan tanah menahan air hujan (Lipu, 2010). Anwar *et al.* (2011) menyimpulkan bahwa deforestasi hutan alam, secara nyata menurunkan produktivitas lahan akibat adanya peningkatan erosi tanah, aliran permukaan, evapotranspirasi, dan menurunnya simpanan air. Alih fungsi lahan berhutan juga berakibat pada kekritisian persediaan air (Hendra, 2013). Ekspansi lahan pertanian ke padang rumput dan semak belukar juga menjadi penyebab utama erosi berat di DAS Rib, Ethiopia (Moges *et al.*, 2017). Selain diakibatkan oleh perubahan penutupan lahan, erosi sebagai penyebab degradasi juga diakibatkan oleh adanya perubahan iklim dan perubahan intensitas hujan yang akan berdampak pada peningkatan tingkat erosi lahan (Khare *et al.*, 2017).

Keputusan Menteri Kehutanan Nomor SK.328/Menhut-II/2009 tentang Penetapan Daerah Aliran Sungai (DAS) Prioritas dalam Rangka Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) Tahun 2010-2014 memasukkan DAS Brantas dalam daftar 108 DAS prioritas (Menteri Kehutanan Republik Indonesia, 2009). Oleh karenanya, DAS Brantas memerlukan kegiatan rehabilitasi hutan dan lahan, penghijauan, dan konservasi tanah dan air. Hasil kajian Widiyanto *et al.* (2010) mengungkapkan bahwa telah terjadi sedimentasi di Sub DAS Sumber Brantas (bagian hulu DAS Brantas) sebesar 143 ton/ha/tahun.

Sedimentasi ini akibat dari erosi yang terjadi terutama di kawasan budidaya pertanian (tanaman sayuran) dan kawasan hutan yang ditanami tanaman semusim. Wilayah ini selain berlereng curam juga mempunyai sifat tanah yang mudah tererosi dan tidak memiliki vegetasi penutup tanah pada saat musim hujan.

Perubahan fungsi lahan juga banyak terjadi pada beberapa wilayah DAS Brantas. Direktorat Kehutanan dan Konservasi Sumber Daya Air (2012) melaporkan bahwa antara tahun 2006-2012 telah terjadi konversi lahan sawah menjadi permukiman terutama di Kota Surabaya, Kabupaten Malang, Sidoarjo, Pasuruan, dan Blitar lebih kurang seluas 3.028,30 ha. Konversi hutan menjadi ladang dan kebun juga terjadi kurang lebih 3.028,30 ha di Kabupaten Tulungagung, Trenggalek, Blitar, dan Malang. Dari laporan statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan diperoleh data laju deforestasi di Jawa Timur pada tahun 2012-2013 sebesar 3.344,4 ha/tahun (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017). Lahan kritis di Jawa Timur selama tahun 2011-2013 mengalami penurunan dari 506.336 ha menjadi 485.042 ha, namun lahan sangat kritis mengalami peningkatan dari 102.577 ha menjadi 736.877 ha.

Untuk mengatasi masalah degradasi lahan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan mempunyai kegiatan rehabilitasi hutan dan lahan melalui penanaman jenis pohon hutan pada kawasan hutan yang rusak, semak belukar, maupun lahan kosong untuk mengembalikan fungsi hutan dalam mengatur tata air, mencegah banjir, dan mengendalikan erosi. Selama kurun waktu tahun 2012-2016 telah dilakukan rehabilitasi hutan seluas 250.379 ha dan 7.067 ha pada tahun 2016. Selain itu, juga dilakukan penanaman di luar kawasan hutan pada lahan kritis dan sangat kritis. Selama tahun 2012-2016 telah terealisasi penanaman seluas 1.688.003 ha dan tahun 2016 seluas 56.990 ha (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017). Untuk dapat menunjang keberhasilan kegiatan ini, rehabilitasi harus tepat sasaran yaitu diarahkan ke lokasi-lokasi yang benar-benar terdegradasi. Oleh sebab itu, distribusi lahan yang terdegradasi secara spasial harus jelas lokasinya. Dengan mengetahui lokasi spasial selanjutnya dapat diidentifikasi pihak-pihak yang dapat berkontribusi untuk mendukung kegiatan rehabilitasi tersebut. Estimasi besaran erosi pada tingkat DAS akan membantu pengelola untuk mengidentifikasi lokasi yang diprioritaskan untuk ditangani (Khare *et al.*, 2017). Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi sebaran lahan terdegradasi di DAS Brantas sebagai upaya dalam melakukan rehabilitasi hutan dan lahan secara tepat sasaran.

II. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Tahun 2016 di DAS Brantas (Gambar 1). DAS ini mempunyai outlet di Mojokerto yaitu sebelum sungai Brantas bercabang dua dengan luas 979.249,9 ha. Lokasi penelitian ini secara geografis terletak pada 115°17'0" hingga 118°19'0" Bujur Timur dan 7°55'30" hingga 7°57'30" Lintang Selatan. Secara administratif lokasi ini terletak di 8 (delapan) kabupaten yaitu Blitar, Jombang, Kediri, Malang, Mojokerto, Nganjuk, Trenggalek, dan Tulungagung dan 5 (lima) kota yaitu Batu, Blitar, Kediri, Malang, dan Mojokerto.

B. Bahan dan Alat

Bahan dan peralatan yang digunakan adalah (1) *Global Positioning System* (GPS), (2) Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000, (3) *Digital Elevation Model* (DEM) Aster resolusi spasial 30 m, (4) Peta penutupan lahan BPKH skala 1:250.000 tahun 2015, (5) *Regional Physical Planning Programme for Transmigration* (RePPPProT) Skala 1:250.000 tahun 1988, dan (5) *Software ArcMap*

10.2 dan MS Office.

Data hujan tahun 2000 sampai dengan 2015 diperoleh dari 233 stasiun penakar hujan pada beberapa instansi yaitu BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) Jawa Timur, BPDAS HL (Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung) Brantas, dan BBWS (Balai Besar Wilayah Sungai) Surabaya.

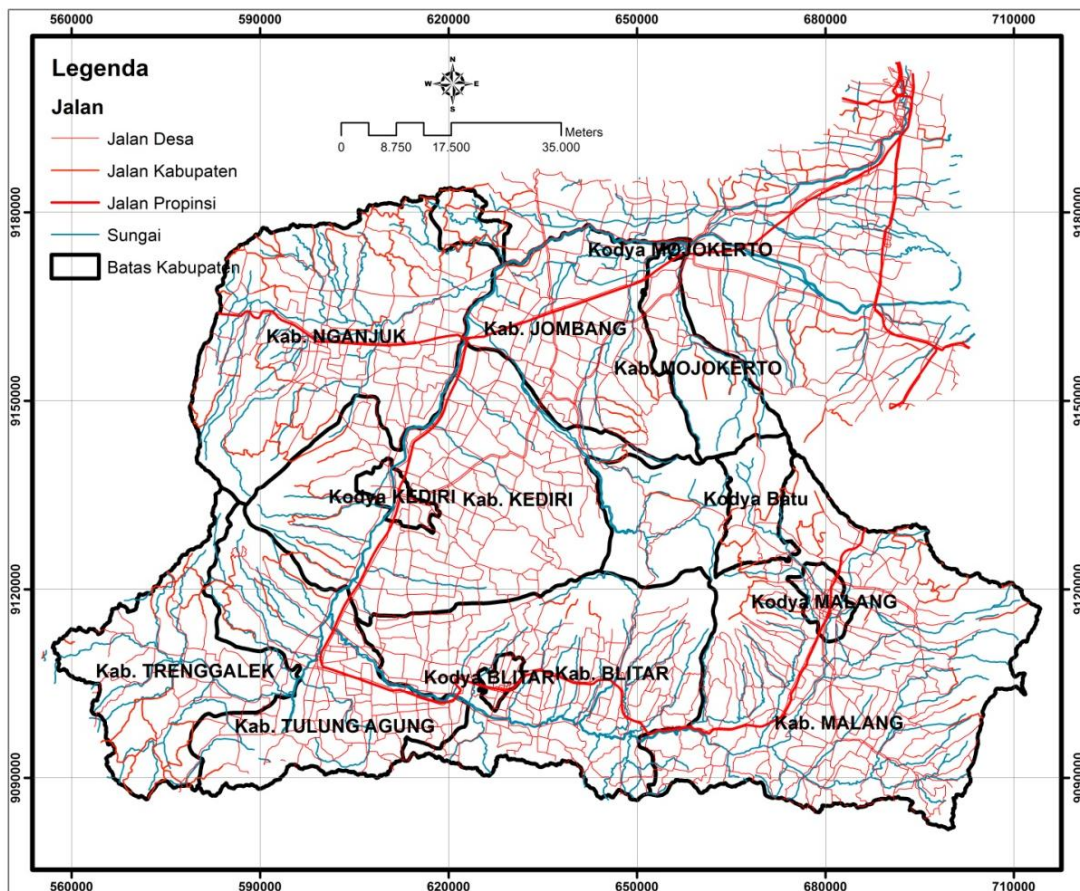
C. Analisis Data

Perhitungan erosi dilakukan dengan prediksi menggunakan rumus *Universal Soil Loss Equation* (USLE) yang dikemukakan oleh Weischmeier dan Smith (1978). Model USLE ini dapat memprediksi erosi yang secara konsisten sesuai dengan data pengamatan langsung (Olivares *et al.*, 2011; Tombus *et al.*, 2012).

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

Keterangan (*Remarks*):

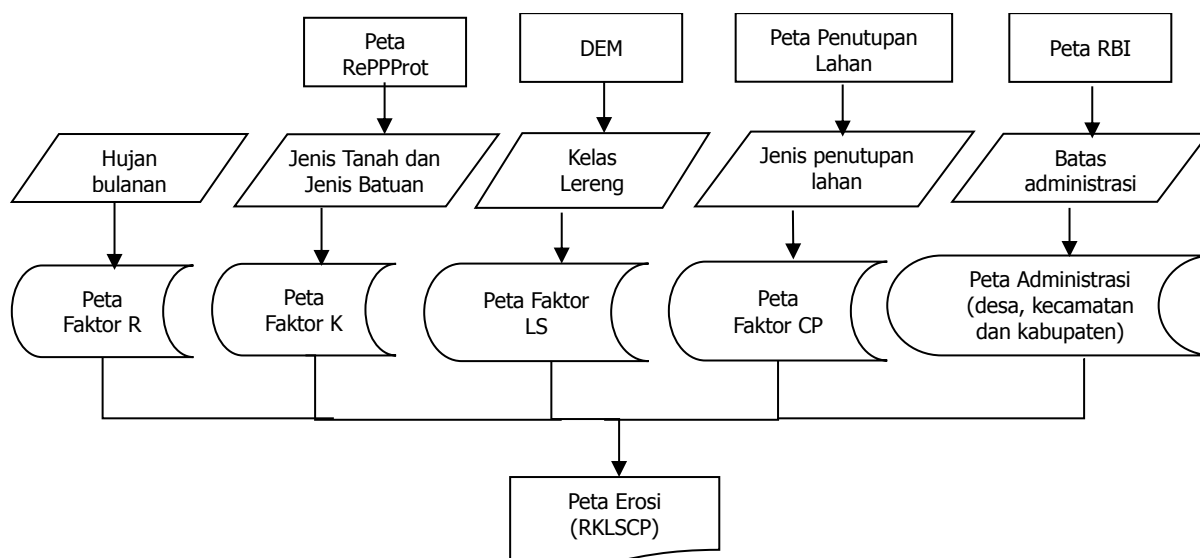
- A = Banyaknya tanah tererosi (*The amount of eroded soil*)(ton/ha/tahun)
- R = Indeks erosivitas hujan (*Rainfall erosivity index*)



Sumber: Peta RBI Skala 1:25.000

Source: RBI Map 1:25.000 Scale

Gambar 1. Lokasi penelitian
Figure 1. Study area



Gambar 2. Analisis tumpang susun untuk identifikasi degradasi lahan
Figure 2. Overlay analyses to identify land degradation

- K = Indeks erodibilitas tanah (*Soil erodibility index*)
- LS = Indeks panjang dan kemiringan lereng (*Slope length index*)
- C = Indeks pengelolaan tanaman (*Plant management index*)
- P = Indeks upaya konservasi tanah (*Soil conservation index*)

Analisis dilakukan secara spasial dengan cara tumpang susun (*overlay*) peta-peta dasar dan tematik (Gambar 2). Analisis spasial untuk memprediksi erosi ini sudah banyak digunakan untuk skala DAS (Moges *et al.*, 2017; Mondal *et al.*, 2016). Peta tematik yang digunakan adalah peta penutupan lahan, tanah, hujan, kelas lereng, dan RePPPProT. Analisis spasial ini dilakukan dengan ArcMap 10.2. Perhitungan erosi dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) ini juga sudah diterapkan oleh Herawati (2010), Phama *et al.* (2018), dan Sharma *et al.* (2011).

Peta hujan diperoleh melalui pembuatan poligon Thiessen berdasar data 233 stasiun curah hujan selama sebelas tahun (tahun 2004 sampai 2014). Peta ini digunakan untuk mendapatkan nilai erosititas hujan (R). Erosivitas hujan (R) dihitung berdasarkan rumus Bols dalam Asdak (2010) berikut:

$$R_m = 2,21 \cdot P_m^{1,36} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan (*Remarks*):
 R_m = Erosivitas bulanan (*Monthly erosivity*) (cm)
 P_m = Curah hujan bulanan (*Monthly rainfall*) (cm)

Peta RePPPProT skala 1:250.000 dari Bakosurtanal (Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional) tahun 1990 memiliki

beberapa atribut parameter yang diperlukan dalam analisis penelitian ini seperti jenis tanah, bentuk lahan, dan iklim. Data jenis tanah yang diperoleh dari ekstraksi peta RePPPProT kemudian digunakan untuk mendekati nilai erodibilitas tanah (Kurnia & Suwardjo, 1984). Nilai erodibilitas sangat dipengaruhi oleh penutupan lahan, pengelolaan lahan (jenis pengolahan lahan, dosis pemupukan, jenis konservasi tanah) serta topografi dan jenis tanah (Ferreira *et al.*, 2015). Untuk memperoleh nilai K dapat didekati dengan model seperti yang dikembangkan oleh Weischmeier dan Smith (1978). Untuk analisis nilai erodibilitas tanah, nilai K didapat dari hasil nilai K yang telah dikumpulkan oleh Kurnia & Suwardjo (1984) (Tabel 1).

Peta lereng diperoleh dari klasifikasi citra DEM. Kelerengan diklasifikasikan menjadi 5 kelas, yaitu 0-8%, 8-15%, 15-25%, 25-45%, dan >45%. Nilai kelas kelerengan ini digunakan untuk mendapatkan nilai kemiringan lereng (LS). Indeks panjang dan kemiringan lereng (LS) dihitung dengan rumus (Panigbatan Jr, 2001):

$$LS = 0,2 S^{1,33} + 0,1 \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan (*Remarks*):
 LS = Indeks panjang lereng (*Slope Length Index*)
 S = Lereng (*Slope*) (%)

Informasi penutupan lahan diperoleh berdasarkan analisis peta penutupan lahan yang diterbitkan BPHK XI Yogyakarta yang bersumber dari analisis citra Alos tahun 2015. Validasi peta dilakukan melalui survei lapangan dan informasi sekunder dari *Google Earth*. Peta ini digunakan untuk memperoleh nilai faktor manajemen (CP). Nilai CP menggunakan hasil penelitian Pusat

Tabel 1. Nilai Erodibilitas Tanah (K) pada Beberapa Tanah

Table 1. Soil erodibility (K) of several soil types

Ordo (Ordo)	Kelompok dan padanan (Great group and equivalen)	Lokasi (Location)	Bahan induk (Parents material)	Faktor kepekaan erosi (Erosivity factor) (K)		
				Kisaran (Range)	Rata-rata (Average)	Kelas (Class)
Oxisol	Haplortox (Latosol)	Darmaga, Bogor	Tufa Vulkan	0,02-0,04	0,03	Sangat Ringan (Very Low)
	Haplortox (Latosol)	Citayam, Bogor	Tufa Vulkan	0,08-0,09	0,09	Sangat Ringan (Very Low)
Ultisol	Tropohumult (Podsolik Merah Kuning)	Citaman, Bandung	Tufa Vulkan	0,09-0,11	0,1	Sangat Ringan (Very Low)
	Tropudult (Podsolik Merah Kuning)	Jonggol, Bogor	Batu Lempung	0,12-0,19	0,16	Ringan (Low)
Entisol	Troporthent (Regosol)	Tanjung Harjo KulonProgo	Batu Lempung Berkapur	0,11-0,16	0,14	Ringan (Low)
Alfisol	Tropaqualf (Mediteran)	Punung, Pacitan	Breksi Berkapur	0,18-0,25	0,22	Sedang (Moderate)
	Tropudalf (Mediteran)	Putat, GunungKidul	Breksi Berkapur	0,16-0,29	0,23	Sedang (Moderate)
Vertisol	Chromudent (Grumosol)	Jegu, Blitar	Napal	0,24-0,30	0,27	Sedang (Moderate)

Sumber: Kurnia & Suwardjo (1984)

Source: Kurnia & Suwardjo (1984)

Penelitian Tanah (1973-1981) yang tidak dipublikasikan yang digunakan Munibah *et al.* (2010).

Besarnya erosi yang terjadi kemudian diklasifikasikan menjadi beberapa kelas agar mudah menentukan prioritas penanggulangannya (Tabel 2).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakter fisik lahan

Hujan tahunan rata-rata adalah 1.835,80 mm/th dengan bulan basah (>200 mm) sebanyak 4,2 bulan dan bulan kering (<100 mm) sebanyak 5,9 bulan. Bulan kering sering terjadi pada bulan Mei sampai dengan Oktober sedangkan bulan basah pada awal November sampai dengan April. Curah hujan rerata bulanan terbesar adalah 398,98 mm yang terjadi pada bulan Januari dan yang terendah sebesar 10,98 mm pada bulan Agustus. Distribusi spasial hujan dapat dilihat pada Gambar 3a.

Jenis tanah yang dominan adalah inceptisol (87%) dengan kedalaman tanah yang lebih dari 90

cm, diikuti oleh alfisol (6,76%), ultisol (5,33%), dan entisol (0,02%). Luas dan persebaran jenis tanah terlihat Gambar 3b. Nilai erodibilitas masing-masing jenis tanah berturut-turut adalah 0,26; 0,19; 0,12; dan 0,17 untuk jenis tanah inceptisol, alfisol, ultisol, dan entisol.

Berdasarkan analisis DEM diperoleh data bahwa 35,7% luas DAS didominasi oleh lahan dengan lereng landai dengan kelerengan 0-8% (Tabel 3). Distribusi spasial kelas kemiringan lahan dapat dilihat pada Gambar 3c.

Dari total luas DAS 979.249,9 ha terdapat kurang lebih 35,8% sawah dan 10,5% pertanian lahan kering (tegal) (Tabel 4). Jenis penutupan lahan yang rentan terhadap erosi adalah yang tidak bervegetasi maupun lahan dengan vegetasi jarang (Mondal *et al.*, 2016). Lahan pertanian sangat rentan terhadap erosi. Praktek pengolahan lahan untuk persiapan penanaman mengakibatkan agregat tanah tidak stabil sehingga bila terdapat hujan dengan intensitas tinggi akan menghasilkan kehilangan tanah yang tinggi pula (Mondal *et al.*, 2016). Nilai pengelolaan tanaman dan konservasi tanah (CP) terendah adalah sawah (0,012) dan hutan lindung (0,01) sedangkan nilai tertinggi adalah nilai CP untuk tegal (0,7) dan lahan terbuka (1,0).

Tabel 2. Klasifikasi tingkat erosi

Table 2. Classification of erosion level

No	Kelas erosi (Soil loss class)	Erosi (Soil loss)
1	Sangat rendah (Very slight)	<15 ton/ha/th (ton/ha/yr)
2	Rendah (Slight)	15-60 ton/ha/th (ton/ha/yr)
3	Sedang (Medium)	60-180 ton/ha/th (ton/ha/yr)
4	Tinggi (High)	180-480 ton/ha/th (ton/ha/yr)
5	Sangat tinggi (Very high)	>480 ton/ha/th (ton/ha/yr)

Sumber: Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan, (1995) dan Direktorat Jenderal Pengendalian Daerah Sungai dan Hutan Lindung (2018)

Source: Directorate General of Reforestation and Rehabilitation (1995) and Directorate General of Watershed Management and Protection Forest (2018).

Tabel 3. Distribusi kelas kemiringan lahan

Table 3. Slope classes distribution

No	Kelas kelerengan (Slope class)	Luas (Area) (ha) (%)
1	0-8	349.521,4 (35,7)
2	8-15	265.971,9 (27,2)
3	15-25	139.594,3 (14,3)
4	25-45	152.598,1 (15,6)
5	> 45	71.564,2 (7,3)
Jumlah (Total)		979.249,9(100,0)

Tabel 4. Jenis penutupan lahan

Table 4. Land cover types

No	Jenis penutupan lahan (Landcover types)	Luas (Area) (ha) (%)
1	Hutan lindung (Protected forest)	110.174,8 (11,3)
2	Hutan produksi (Production forest)	156.447,2 (16,0)
3	Kebun campuran (Mixed garden)	68.287,0 (7,0)
4	Lahan terbuka (Bare land)	826,6 (0,1)
5	Padang rumput (Grass land)	77,1 (0,0)
6	Perairan darat (Inland waters)	351,6 (0,0)
7	Perkebunan (Plantation)	10.389,6 (1,1)
8	Sawah (Paddy field)	350.387,3 (35,8)
9	Tegal (Dry land)	103.012,5 (10,5)
10	Bangunan (Building)	174.064,2 (17,8)
11	Tubuh air (Water body)	5.232,0 (0,5)
Jumlah (total)		979.249,9 (100,0)

B. Tingkat erosi dan rekomendasi penanggulangan melalui rehabilitasi hutan dan lahan.

Hasil perhitungan erosi menunjukkan bahwa rata-rata tertimbang erosi DAS Brantas adalah 448,73 ton/ha/tahun atau pada tingkat erosi tinggi. Terdapat erosi tingkat sangat ringan sampai dengan sangat tinggi (Tabel 5). Erosi tinggi dan sangat tinggi masing-masing mencakup 22,51% dan 19,23% dari total area (Gambar 3e). Kedua tingkat erosi tersebut paling banyak terdistribusi pada jenis penutupan lahan hutan lindung, hutan

produksi, tegal, dan kebun campuran. Penutupan lahan tegal seluruhnya mengalami erosi tinggi dan sangat tinggi. Yang berpengaruh terhadap erosi tidak hanya jenis penutupan lahan saja tetapi juga tingkat kelerengan, tekstur drainase, dan tingkat penutupan vegetasi (Sigalos *et al.*, 2016). Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa ada beberapa faktor lagi yang juga mempengaruhi erosi yaitu erodibilitas tanah (K), BO (Bahan Organik), persentase natrium yang bisa ditukar, kekuatan geser, serta daya penetrasi dan permeabilitas tanah (Barrio *et al.*, 2017). Pada kasus di DAS Brantas, pengaruh kemiringan lahan secara individual tidak terlihat nyata karena tingkat erosi tinggi dan sangat tinggi terdapat diseluruh kelas kemiringan lahan (Tabel 6). Erosi tinggi dan sangat tinggi dapat terjadi pada lereng datar (0-8%) karena pada lokasi tersebut mempunyai jenis penutupan lahan tegal dan juga merupakan lahan terbuka sehingga mempunyai nilai CP yang tinggi yaitu 0,7 dan 1,0. Selain itu juga, erosi pada lereng datar dapat disebabkan oleh nilai kepekaan tanah yang relatif tinggi (0,26). Apabila mengalami hujan yang sama dan mempunyai jenis tanah yang sama maka pada lokasi tersebut akan menghasilkan respon erosi yang relatif lebih besar daripada erosi pada lokasi dengan jenis penutupan lahan yang lain.

Tabel 5. Tingkat erosi pada beberapa jenis penutupan lahan

Table 5. Erosion level in several landcover types

No	Jenis penutupan lahan (Land cover types)	Tingkat erosi (Erosion level)				
		SR (VS)	R (S)	S (M)	T (H)	ST (VH)
		Luas (area) (ha) (%)	Luas (area) (ha) (%)	Luas (area) (ha) (%)	Luas (area) (ha) (%)	Luas (area) (ha) (%)
1	Hutan lindung (Protected forest)	5.689,32 (0,58)	20.531,65 (2,10)	5.706,64 (0,58)	78.247,16 (7,99)	-
2	Hutan produksi (Production forest)	103,79 (0,01)	8.184,82 (0,84)	5.685,08 (0,58)	57.841,16 (5,91)	84.632,33 (8,64)
3	Kebun campuran (Mixed garden)	2.594,29 (0,26)	11.560,43 (1,18)	3.821,64 (0,39)	33.784,54 (3,45)	16.526,14 (1,69)
4	Lahan terbuka (Bare land)	-	-	3,12 (0,00)	313,66 (0,03)	509,79 (0,05)
5	Padang rumput (Grass land)	73,03 (0,01)	4,04 (0,00)	-	-	-
6	Perairan darat (Inland waters)	351,60 (0,04)	-	-	-	-
7	Perkebunan (Plantation)	-	737,04 (0,08)	439,09 (0,04)	4.637,87 (0,47)	4.575,63 (0,47)
8	Sawah (Paddy field)	286.134,23 (29,22)	54.888,39 (5,61)	1.468,01 (0,15)	7.896,66 (0,81)	-
9	Tegal (Dry land)	14,31 (0,00)	-	-	22.078,07 (2,25)	80.920,15 (8,26)
10	Bangunan (Building)	11.934,64 (1,22)	129.953,55 (13,08)	15.321,08 (1,56)	15.662,71 (1,60)	1.192,24 (0,12)
11	Tubuh air (Water body)	5.232,00 (0,53)	-	-	-	-
Jumlah (Total)		312.127,20 (31,87)	225.859,91 (23,06)	32.444,65 (3,31)	220.461,83 (22,51)	188.356,28 (19,23)

Keterangan:

SR (Sangat ringan) T (Tinggi)
R (Ringan) ST (Sangat Tinggi)
S (Sedang)

Remarks:

VS (Very Slight) H (High)
S (Slight) VH (Very high)
M (Moderate)

Tabel 6. Tingkat erosi pada beberapa kelas kelerengan

Table 6. Erosion level in several slope classes

Kelas kelerengan (%) (Slope class) (%)	Tingkat erosi (Erosion level)				
	SR (VS) Luas (area) (ha) (%)	R (S) Luas (area) (ha) (%)	S (M) Luas (area) (ha) (%)	T (H) Luas (area) (ha) (%)	ST (VH) Luas (area) (ha) (%)
0-8	220.850,6 (22,6)	104.828,9 (10,7)	3.377,1 (0,3)	19.909,9 (2,0)	554,9 (0,1)
8-15	858.59,0 (8,8)	73.025,2 (7,5)	20.496,5 (2,1)	55.523,5 (5,7)	31.067,6 (3,2)
15-25	45.32,6 (0,5)	40.724,69 (4,2)	1547,15 (0,2)	55.100,0 (5,6)	37.689,8 (3,8)
25-45	811,0 (0,1)	7.155,608 (0,7)	6933,064 (0,7)	44.751,5 (4,6)	92.947,0 (9,5)
> 45	74,0 (0,0)	125,5 (0,0)	90,76007 (0,0)	45.176,9 (4,6)	26.097,1 (2,7)
Jumlah (Total)	312.127,2 (31,9)	225.859,9 (23,1)	32444,65 (3,3)	22.0461,8 (22,5)	188.356,3 (19,2)

Keterangan:

SR (Sangat ringan)

R (Ringan)

S (Sedang)

T (Tinggi)

ST (Sangat Tinggi)

Remarks:

VS (Very Slight)

S (Slight)

M (Moderate)

H (High)

VH (Very high)

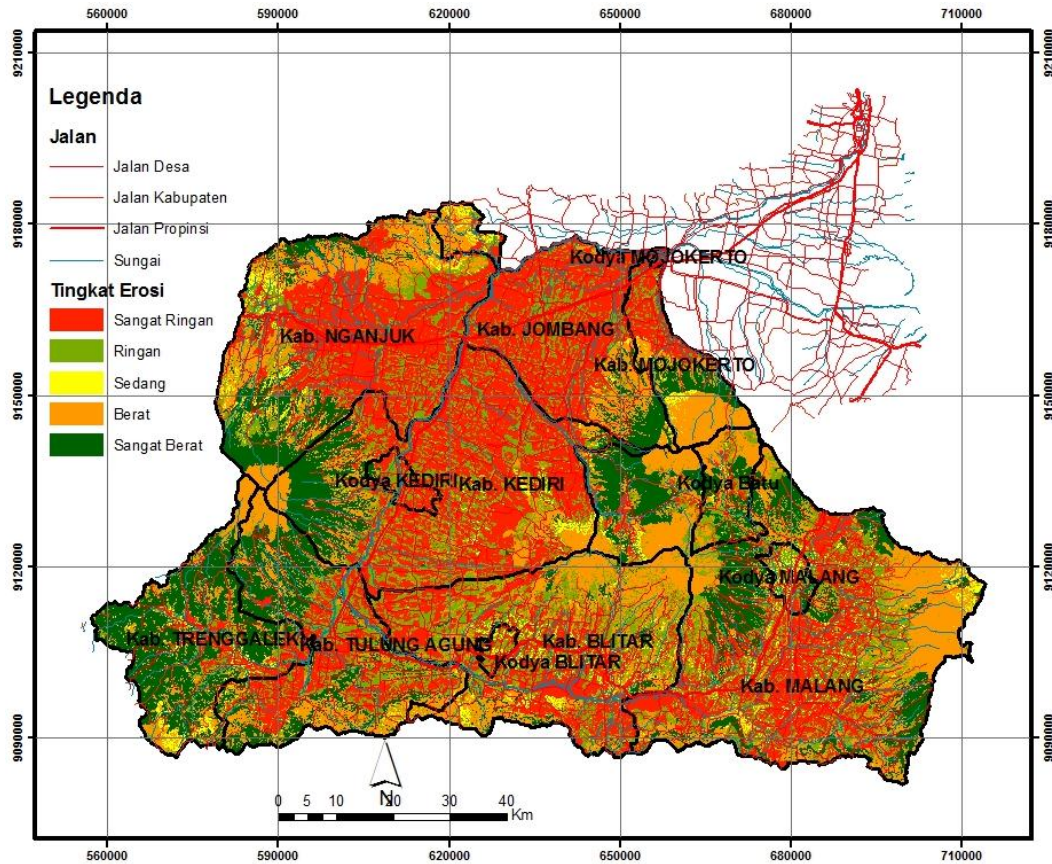
penutupan lahan tegal mendominasi area tersebut yaitu sebesar 30%. Demikian juga dengan Kabupaten Malang dan Nganjuk, berturut-turut 15,7% dan 11% lahannya didominasi oleh tegal dengan tingkat erosi tinggi dan sangat tinggi. Penanggulangan erosi diprioritaskan di lokasi dengan tingkat erosi ini, namun demikian untuk kegiatan pencegahan perlu juga dilakukan di lokasi lain agar tidak berkembang menjadi erosi tinggi dan sangat tinggi.

Terdapat beberapa faktor penyebab erosi yang dapat dikelola yaitu jenis penutupan lahan dan pengolahan lahan. Pengendalian alih fungsi lahan harus dilakukan karena beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan penggunaan/penutupan lahan menjadi salah satu penyebab terjadinya erosi (Ozsahin *et al.*, 2018; Rhoades *et al.*, 2011; Sharma *et al.*, 2011). Pembukaan lahan hutan untuk lahan pertanian harus dikendalikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan pertanian semusim dan lahan yang belum ditanami mempunyai tingkat erosi dan penurunan BO tinggi (Mondal *et al.*, 2016). Semakin tinggi tingkat erosi, kandungan BO akan semakin berkurang (Duan *et al.*, 2011). Selain itu praktek pengolahan lahan untuk persiapan penanaman mengakibatkan agregat tanah tidak stabil sehingga bila terdapat hujan dengan intensitas tinggi akan menghasilkan kehilangan tanah yang tinggi pula. Kondisi ini akan berlangsung lebih kurang 1,5-2 bulan sampai tanaman semusim dapat berfungsi menutupi lahan. Demikian pula halnya kondisi setelah panen yang berakibat pada terpaparnya lahan pada hempasan air hujan. Hujan dengan intensitas tinggi akan lebih berdampak negatif terhadap lahan terbuka bila dibandingkan dengan lahan bervegetasi (Mondal *et al.*, 2016). Pengolahan lahan secara konvensional, pemupukan, dan pemberantasan gulma secara manual juga merupakan masalah utama erosi (Ming *et al.*, 2018). Oleh sebab itu, untuk kasus penanggulangan erosi dapat dilakukan dengan

pemupukan dan membiarkan lahan tersebut bera secara musiman (Ming *et al.*, 2018).

Bahan Organik (BO) mempunyai peran penting dalam mempertahankan kesuburan dan produktivitas tanah (Naik *et al.*, 2017). Jenis penutupan lahan hutan lebih banyak mengandung BO bila dibandingkan dengan pertanian semusim di daerah miring (Xu *et al.*, 2015). Kandungan BO ini dipengaruhi oleh proses erosi dan deposisi pada lahan sehingga dapat menjadi indikator terjadinya degradasi lahan dan kualitas pengelolaan lahan (Naik *et al.*, 2017; Xu *et al.*, 2015). Untuk meningkatkan kandungan BO pada lahan yang terdegradasi antara lain bisa dengan menggunakan *biochar* (arang biologis) yang diproduksi melalui pembakaran sisa biomasa tanaman. *Biochar* dapat digunakan untuk memodifikasi sifat-sifat tanah terutama di daerah tropis yang terdegradasi (Du *et al.*, 2017). *Biochar* mampu memperbaiki sifat fisik tanah seperti agregat tanah, aerasi tanah, dan kemampuan tanah dalam menyimpan air (Mukherjee & Lal, 2013), selain itu *biochar* juga dapat menurunkan kandungan logam berat tanah yang tercemar (Rees *et al.*, 2017). *Biochar* juga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman seperti pada kelapa sawit (tinggi, diameter, dan jumlah daun) dan meningkatkan serapan unsur hara N (Santi, 2017). Pengembalian residu tanaman yang dibudidayakan ke dalam tanah juga dapat mempertahankan kandungan BO (Naik *et al.*, 2017).

Penanaman vegetasi pohon dapat menjadi alternatif untuk pengendalian erosi. Hasil penelitian Mashudi *et al.* (2016) menyimpulkan bahwa tanaman mahoni dapat menurunkan erosi dan semakin tanaman bertambah umur maka erosi akan terus menurun. Kegiatan penanaman diprioritaskan pada lokasi-lokasi yang miring dengan jenis penutupan lahan tanaman semusim. Namun demikian, perlu juga dipahami bahwa struktur hutan juga mempengaruhi erosi. Adanya struktur tajuk yang bertingkat (*multilayer*) yaitu



Gambar 4. Distribusi spasial erosi di beberapa kabupaten kota
Figure 4. Spatial distribution of soil loss in several districts

teknik penanaman yang mengkombinasikan berbagai jenis tanaman dengan bentuk dan tinggi tajuk yang berbeda akan membantu mengurangi risiko *troughfall* yang dapat menyebabkan erosi (Geissler *et al.*, 2012). Seleksi jenis tanaman harus mempertimbangkan heterogenitas bentuk dan tinggi tajuk.

Permasalahan akan timbul bila rehabilitasi lahan dilakukan pada lahan milik masyarakat. Umumnya masyarakat menggunakan lahan sebagai penunjang utama pemenuhan kebutuhan pangan. Mereka akan mempertahankan lahan tegal/sawah untuk ditanami dengan tanaman semusim saja, meskipun berada pada lereng-lereng curam. Kompromi pemilihan jenis tanaman dan pola tanam harus dilakukan agar secara ekonomi masih dapat berproduksi secara musiman dengan meminimalkan kerusakan lahan. Kompromi tersebut bisa dilakukan dengan menerapkan pola agroforestri. Pola ini mengkombinasikan tanaman multi tajuk yang terdiri dari campuran tanaman semusim, kayu-kayuan, buah-buahan, rumput, dan sering pula diintegrasikan dengan peternakan. Hasil penelitian Olivi *et al.* (2015) menyimpulkan bahwa agroforestri mampu menyumbang pendapatan 88,31% total pendapatan petani atau sebesar Rp

50.142.696,00/kk/ha/tahun. Selain itu penerapan agroforestri dengan kombinasi tanaman kayu, tanaman perkebunan, tanaman tahunan, tanaman semusim (sengon, cengkeh, kelapa, petai, pisang, kapulaga, dan singkong) mampu memberikan pengaruh positif terhadap respon hidrologi (Junaidi & Indrajaya, 2018). Dari aspek erosi dan aliran permukaan pola agroforestri kombinasi tanaman keras jati putih (*Gmelina arborea*) dengan tanaman semusim dan empon-empon mampu mengurangi aliran permukaan dan erosi (Devianti, 2018). Selain itu pola agroforestri juga mampu menurunkan debit puncak (*peak surface flow*) dan konsentrasi sedimen (Junaidi, 2013).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

DAS Brantas mempunyai nilai erosi tertimbang sebesar 448,73 ton/ha/tahun yang termasuk dalam kategori tinggi. Lahan-lahan dengan jenis penutupan hutan lindung, hutan produksi, tegal, dan kebun campur terindikasi mempunyai nilai erosi tinggi. Faktor jenis tanah dan erodibilitas merupakan faktor utama penyebab erosi pada lahan-lahan tersebut. Upaya pencegahan dan pengurangan risiko erosi dapat

dilakukan melalui penerapan pola agroforestri. Pola ini memiliki keunggulan positif baik secara lingkungan maupun ekonomi.

B. Saran

Rehabilitasi hutan dan lahan dalam rangka menurunkan dan mencegah erosi di DAS Brantas harus dilakukan berdasar analisis sebaran erosi. Hal ini dimaksudkan agar penanganan erosi dapat tepat sasaran. Pola agroforestri dapat diterapkan karena selain dapat menurunkan erosi dan sedimentasi juga dapat meningkatkan pendapatan masyarakat. Untuk tahap ujicoba dan pengembangan dapat dilakukan dalam satuan mikrodas. Melalui cara ini pengamatan dampak rehabilitasi terhadap erosi, sedimentasi, dan tata air sekaligus dapat dipantau. Peran para pihak perlu diintegrasikan sehingga dapat memberi hasil optimal dan terukur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan dan ucapan terima kasih disampaikan kepada pimpinan dan segenap sivitas BPPTPDAS dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang sudah memberikan dukungan dana melalui DIPA Tahun 2016, serta kepada seluruh anggota tim yang telah berdedikasi dan membantu penelitian ini yaitu: Dr. Endang Savitri, Drs. Rahardyan N.A, M.Sc, dan Edi Sulasmiko, SP.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, M., Pawitan, H., Murti Laksono, K., & Jaya, I. N. S. (2011). Respons Hidrologi Akibat Deforestasi di DAS Barito Hulu, Kalimantan Tengah. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika XVII*(3), 119-126.
- Asdak, C. (Ed.). (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Barrio, P. O. D., Giménez, R., & Campo-Bescós, M. Á. (2017). Assessing Soil Properties Controlling Interrill Erosion: An Empirical Approach Under Mediterranean Condition. *Land Degrad. Develop.*, 28, 1729-1741. doi: DOI: 10.1002/ldr.2704
- Devianti. (2018). Kajian Tingkat Laju Limpasan Permukaan dan Erosi Berdasarkan Pengelolaan Tanaman Pertanian Sistem Agroforestry di DAS Cianten-Cipancar, Provinsi Jawa Barat, Indonesia. *JTEP Jurnal Keteknik Pertanian*, 6(1), 109-116. doi: DOI: 10.19028/jtep.06.1.109-116
- Direktorat Jenderal Pengendalian Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung. (2018). Petunjuk Teknis Penyusunan Data Spasial Lahan Kristis, Pub. L. No. P.3/PDASHL/SET/KUM.1/7/2018. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan. (1995). *Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai*. Jakarta: Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Jeneberang-Walanae Makassar, Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan.
- Direktorat Kehutanan dan Konservasi Sumber Daya Air. (2012). *Analisa Perubahan Penggunaan Lahan di Ekosistem DAS dalam Menunjang Ketahanan Air dan Ketahanan Pangan: Studi Kasus DAS Brantas* In BAPPENAS (Ed.). Jakarta: BAPPENAS.
- Du, Z.-L., Zhao, J.-K., Wang, Y.-D., & Zhang, Q.-Z. (2017). Biochar addition drives soil aggregation and carbon sequestration in aggregate fractions from an intensive agricultural system. *J Soils Sediments* 17, 581-589. doi: DOI 10.1007/s11368-015-1349-2
- Duan, X., Xie, Y., Ou, T., & Lu, H. (2011). Effects of Soil Erosion on Long-term Soil Productivity in The Black Soil Region of Northeastern China. *Catena*, 87, 268-275.
- Ferreira, V., Panagopoulos, T., Andrade, R., Guerrero, C., & Loures, L. (2015). Spatial variability of soil properties and soil erodibility in the Alqueva reservoir watershed. *Solid Earth*, 6, 383-392.
- Geissler, C., Kühn, P., Böhnke, M., Bruelheide, H., Shi, X., & Scholten, T. (2012). Splash Erosion Potential under Tree Canopies in Subtropical SE China. *CATENA*, 91, 85-93.
- Hendra, T. L. (2013). Dampak Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Tingkat Kekritisian Air Sub DAS Citarum Hulu. *Majalah Geografi Indonesia*, 27(1), 26-37.
- Herawati, T. (2010). Analisis Spasial Tingkat Bahaya Erosi di Wilayah DAS Cisadane Kabupaten Bogor. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, VII (4), 413-424.
- Junaidi, E. (2013). Peranan Penerapan Agroforestry terhadap Hasil Air Daerah Aliran Sungai (DAS) Cisadane. *Jurnal Penelitian Agroforestry*, 1(1), 41-53.
- Junaidi, E., & Indrajaya, Y. (2018). Respon hidrologi akibat penerapan pola agroforestri pada penggunaan lahan yang tidak sesuai kesesuaian lahan *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 7(1), 69-81.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2017). *Statistik Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2016*. Jakarta: Pusat Data dan Informasi, Sekretariat Jenderal Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
- Khare, D., Mondal, A., Kundu, S., & Mishra, P. K. (2017). Climate change impact on soil erosion in the Mandakini River Basin, North India. *Appl Water Science*, 7, 2373-2383. doi: DOI 10.1007/s13201-016-0419-y
- Kurnia, U., Sutrisno, N., & Sungkawa, I. (2010). Perkembangan Lahan Kritis. In K. Suradisastra, S. M. Pasaribu, B. Sayaka, A. Dariah, I. Las, Haryono & E. Pasandaran (Eds.), *Membalik Kecenderungan Degradasi Sumber Daya Lahan dan Air* (pp. 143-160). Bogor: IPB Press.
- Kurnia, U., & Suwardjo. (1984). Kepekaan Erosi Beberapa Jenis Tanah di Jawa menurut Metode USLE. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk*, 3, 17-20.
- Lipu, S. (2010). Analisis Pengaruh Konversi Hutan terhadap Larian Permukaan dan Debit Sunia Bulili, Kabupaten Sigi. *Media Litbang Sulteng*, 3(1), 44-50.

- Mashudi, Susanto, M., & Baskorowati, L. (2016). Potensi Hutan Tanaman Mahoni (*Swietenia macrophylla* King) dalam Pengendalian Limpasan dan Erosi. *J. Manusia dan Lingkungan*, 23(2), 259-265.
- Menteri Kehutanan Republik Indonesia. (2009). *Keputusan Menteri Kehutanan Nomor: SK.328/Menhut-II/2009 tentang Penetapan Daerah Aliran Sungai (DAS) Prioritas dalam Rangka Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) Tahun 2010-2014*. Jakarta.
- Ming, L., Yu-kuan, W., Pei, X., Bin, F., Cong-shan, T., & Shan, W. (2018). Cropland physical disturbance intensity: plot-scale measurement and its application for soil erosion reduction in mountainous areas *Journal of Mountain Science* 15(1), 198-210. doi: <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4574-x>
- Moges, Desalew M., & H. Gangadhara Bhat. (2017). Integration of geospatial technologies with RUSLE for analysis of land use/cover change impact on soil erosion: case study in Rib watershed, north western highland Ethiopia. *Environ Earth Sci* 76, 765. doi: DOI 10.1007/s12665-017-7109-4
- Mondal, A., Khare, D., & Kundu, S. (2016). Impact assessment of climate change on future soil erosion and SOC loss. *Nat Hazards* 82, 1515-1539. doi: DOI 10.1007/s11069-016-2255-7
- Mukherjee, A., & Lal, R. (2013). Biochar Impacts on Soil Physical Properties and Greenhouse Gas Emissions *Agronomy*, 3, 313-339. doi: doi:10.3390/agronomy3020313
- Munibah, K., Sitorus, S. R. P., Rustiadi, E., Gandasasmita, K., & Hartrisari. (2010). Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Erosi di DAS Cidanau, Banten. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 32, 55-69.
- Naik, S. K., Maurya, S., & Bhatt, B. P. (2017). Soil organic carbon stocks and fractions in different orchards of eastern plateau and hill region of India. *Agroforest Syst.*, 91, 541-551. doi: DOI 10.1007/s10457-016-9957-4
- Olivares, B., Verbist, K., Lobo, D., Vargas, R., & Silva, O. (2011). Evaluation of The USLE Model to Estimate Water Erosion in an Alfisol. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 11(2), 71-84.
- Olivi, R., Qurniati, R., & Firdasari. (2015). Kontribusi Agroforestri terhadap Pendapatan Petani Desa Suoharjo Kecamatan Sukoharjo Kabupaten Pringsewu. *Jurnal Sylva Lestari*, 3(2), 1-12.
- Ozsahin, E., Duru, U., & Eroglu, I. (2018). Land Use and Land Cover Changes (LULCC), a Key to Understand Soil Erosion Intensities in the Maritsa Basin. *Water* 10(3), 1-15. doi:10.3390/w10030335
- Paningbatan Jr., E. P. (2001). Hydrology and Soil Erosion Models for Catchment Research and Management. In A. R. Magliano & R. N. Leslie (Eds.), *Soil Erosion Management Research in Asian*.
- Phama, T. G., Degener, J., & Kappas, M. (2018). Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research* 6, 99-110.
- Rees, F., Dhyèvre, A., Morel, J. L., & Cotelle, S. (2017). Decrease in the genotoxicity of metal-contaminated soils with biochar amendments. *Environ Sci Pollut Res* 24, 27634-27641. doi: DOI 10.1007/s11356-017-8386-x
- Rhoades, J. L., Demyan, M. S., & Orr, B. (2011). Impacts of Deforestation and Land Cover Change on Mountain Soils in Hrazdan, Armenia. *Journal of Sustainable Forestry*, 30, 677-696.
- Santi, L. P. (2017). Pemanfaatan Biochar Asal Cangkang Kelapa Sawit untuk Meningkatkan Serapan Hara dan Sekuestrasi Karbon pada Media Tanah Lithic Hapludults di Pembibitan Kelapa Sawit. *Jurnal Tanah dan Iklim* 41(1), 9-16.
- Sharma, A., Tiwari, K. N., & Bhadoria, P. B. S. (2011). Effect of Land Use Land Cover Change on Soil Erosion Potential in an Agricultural Watershed. *Environ Monit Assess*, 173, 789-801.
- Sigalos, G., Loukaidi, V., Dasaklis, S., Drakopoulou, P., Salvati, L., Ruiz, P. S., & Mavrakis, A. (2016). Soil erosion and degradation in a rapidly expanding industrial area of Eastern Mediterranean basin (Thriasio plain, Greece). *Nat Hazards*, 82, 2187-2200. doi: DOI 10.1007/s11069-016-2288-y
- Tombus, F. E., Yuksel, M., Sahin, M., Ozulu, İ. M., & Cosar, M. (2012). Assessment Of Soil Erosion Based On The Method USLE; Çorum Province: Example Rome, Italy: TS05E - Technical Aspects of Spatial Information II, 5848.
- Wahyuningrum, N., & Wardoyo. (2008). *Analisis Kemampuan Lahan di Sub DAS Tajum*. Paper presented at the Seminar Nasional Hasil Penelitian "Teknologi, Sosial Ekonomi dan Kelembagaan Sebagai Basis Pengelolaan DAS Purwokerto.
- Wahyunto, & Dariah, A. (2014). Degradasi Lahan di Indonesia: Kondisi Existing, Karakteristik, dan Penyeragaman Definisi Mendukung Gerakan Menuju Satu Peta *Jurnal Sumberdaya Lahan* 8(2), 81-93.
- Weischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses; A Guide to Conservation Planning. *Agriculture Handbook*, 537, 1-59.
- Widianto, Suprayogo, D., Sudarto, & Lestariningsih, I. D. (2010) Implementasi Kaji Cepat Hidrologi (RHA) di Hulu DAS Brantas, Jawa Timur. (pp. 1-133). Bogor: World Agroforestry Centre, ICRAF Southeast Asia Regional Office
- Xu, G., Lu, K., Li, Z., Li, P., Wang, T., & Yang, Y. (2015). Impact of soil and water conservation on soil organic carbon content in a catchment of the middle Han River, China. *Environ Earth Sci*, 74, 6503-6510.