

**PENGARUH LUAS PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP LAJU EROSI : STUDI PADA
BEBERAPA DAS DI WILAYAH TAPAL KUDA JAWA TIMUR**

(The effect of land use on erosion rate: a study at several watersheds in Tapal Kuda Region, East Java)

Rhoshandhayani Koesiyanto Taslim¹, Marga Mandala¹, Indarto¹

¹Magister Pengelolaan Sumber Daya Air Pertanian Pascasarjana

Universitas Jember

Jl. Kalimantan no. 27 Kampus Tegalboto, Jember 68121

Email: rhoshandhayani.unej@gmail.com

Diterima: 02 Oktober 2019; Direvisi : 13 Desember 2019; Disetujui : 30 Desember 2019

ABSTRACT

The regencies of Probolinggo, Lumajang, Jember, Bondowoso, Situbondo, and Banyuwangi are located in the Eastern part of East Java and called as Tapal Kuda. These regions are actually on fast development. The development to service human settlement generates land use change from natural into urban or developed areas. The change in land use will generate more runoff, erosion, and sedimentation from the watersheds. This study examined the effect of land use types and their percentage areas on erosion rates. The Universal Soil Loss Equation (USLE) was used to predict the erosion rate. The erosion rate of four land uses, which were forests, paddy fields, plantations and settlements, were calculated and compared. The values of the erosion rate were obtained by the statistical value per pixel in the watershed. Fifteen watersheds in the Tapal Kuda area were used as the samples. The results showed that the relationship (r^2) between forests, rice fields, plantations, settlements and the erosion rate: 0.2; 0.2; 0.2 and 0.03, respectively.

Keywords: *area percentage; land use; erosion rate; watershed; USLE*

ABSTRAK

Probolinggo, Lumajang, Jember, Bondowoso, Situbondo dan Banyuwangi merupakan kabupaten yang terletak di bagian timur Provinsi Jawa Timur dan dikenal dengan sebutan wilayah Tapal Kuda. Wilayah ini sedang mengalami perkembangan pembangunan yang cukup pesat. Percepatan pembangunan ini dilakukan untuk memenuhi kebutuhan manusia berupa pemukiman, akses jalan dan kebutuhan lainnya. Hal ini mengakibatkan terjadinya alih fungsi lahan yang memberikan dampak turunan berupa limpasan, erosi dan sedimentasi di DAS (Daerah Aliran Sungai). Penelitian ini mengkaji pengaruh luas penggunaan lahan terhadap laju erosi. Model *Universal Soil Loss Equation* (USLE) digunakan untuk memprediksi laju erosi. Analisis dilakukan dengan membandingkan persentase luas penggunaan lahan hutan, sawah, perkebunan dan pemukiman terhadap nilai laju erosi. Nilai laju erosi diperoleh berdasarkan statistik nilai per piksel di dalam DAS. Sejumlah 15 DAS di wilayah Tapal Kuda digunakan sebagai sampel. Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi (r^2) antara luas hutan, sawah, perkebunan dan pemukiman terhadap laju erosi masing-masing sebesar 0,2; 0,2; 0,2 dan 0,03, secara berurutan.

Kata kunci: *persentase luas; penggunaan lahan; laju erosi; DAS; USLE*

I. PENDAHULUAN

Jumlah penduduk yang semakin meningkat setiap tahunnya, berdampak pada kebutuhan pangan, tempat tinggal, sarana transportasi dan pembangunan infrastruktur yang akan membutuhkan lebih banyak lahan untuk mendukung aktivitas kehidupan (Srinivasu & Srinivasa Rao, 2013). Dinamika aktivitas manusia dalam memenuhi berbagai kebutuhan hidupnya membawa suatu kondisi seolah-olah terjadi kelaparan lahan (Dwiprabowo *et al.*, 2014). Hal ini tidak menutup kemungkinan akan mengakibatkan terjadinya perubahan tutupan lahan dan alih fungsi lahan secara besar-besaran.

Alih fungsi lahan merupakan salah satu dari 5 isu pokok tentang tata guna lahan/ tata ruang pada tataran mikro dalam pembangunan wilayah di Indonesia. Alih fungsi lahan terjadi di wilayah perkotaan maupun pedesaan (Prihatin, 2018). Peristiwa alih fungsi lahan ini menyebabkan ruang-ruang terbuka berupa lahan hijau yang produktif terus menerus mengalami penyusutan.

Salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki jumlah penduduk paling banyak adalah Jawa Timur, yaitu 39,2 juta atau sekitar 15% dari jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2017 (BPS, 2018). Banyaknya jumlah penduduk ini diiringi dengan pembangunan infrastruktur yang berkembang pesat (Agustina, *et al.*, 2018). Apalagi proyek nasional juga sedang dipercepat dengan tujuan untuk peningkatan pembangunan ekonomi. Hal ini tidak menutup kemungkinan terjadinya alih fungsi lahan yang mulanya berupa sawah, hutan, perkebunan, dan lain sebagainya menjadi jalan tol, pemukiman,

perumahan, dan bangunan infrastruktur strategis lainnya sehingga mengakibatkan lahan menjadi kritis dan rentan erosi (Mulyani, *et al.*, 2016; Subekti & Budyatmojo, 2015).

Di Jawa Timur, khususnya wilayah bagian timur seperti Probolinggo, Lumajang, Jember, Situbondo, Bondowoso, dan Banyuwangi atau yang lebih dikenal dengan sebutan wilayah Tapal Kuda mengalami kekritisian lahan yang cukup tinggi. Luasan lahan kritis di luar kawasan hutan pada tahun 2015 di Kabupaten Probolinggo, Lumajang, Jember, Situbondo, Bondowoso, dan Banyuwangi berturut-turut adalah 2,5%, 4,3%, 0,7%, 5,4%, 4,1%, dan 0,4% dari seluruh luas wilayah kabupaten/ kota (Dinas Kehutanan Jawa Timur, 2016). Lahan yang kritis berdampak pada berkurangnya kemampuan DAS dalam menyimpan air, meningkatnya besaran volume banjir saat musim hujan, serta tingginya sedimen akibat laju erosi yang tinggi di DAS-DAS (Mawardi, 2010).

Tanah yang sudah kritis dicirikan oleh fungsi tanah yang telah terganggu dan tidak dapat lagi digunakan sesuai peruntukannya (Mazazatu dan Yudo, 2015). Salah satu penyebab lahan kritis adalah terjadinya erosi. Erosi merupakan proses penghancuran batuan dan tanah menjadi partikel-partikel tanah yang kemudian berpindah ke tempat lainnya (Mulyono, 2009). Proses ini terjadi secara alami yang menyebabkan rusaknya partikel tanah sehingga menyebabkan terjadinya pembuangan bahan organik dan mineral secara tidak teratur (Alibasyah & Karim, 2013).

Dampak erosi tanah akan berakibat pada kehidupan masyarakat penghuni DAS melalui penurunan produktivitas lahan, penurunan pendapatan dan kurangnya penyediaan air bersih (Simbolon, *et al.*, 2016). Besar kemungkinan bahwa masyarakat harus mengeluarkan biaya atau energi yang lebih untuk memperoleh sumberdaya dengan kualitas dan kuantitas yang sama (Suprayogo, *et al.*, 2017).

Erosi yang terjadi secara terus menerus tanpa ada upaya konservasi akan berdampak pada lingkungan dan kehidupan bermasyarakat (Idjudin, 2011). Oleh karena itu, kajian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan lahan terhadap erosi yang terjadi. Hal tersebut dapat dikaji dan dianalisis melalui beragam pemodelan. Sejauh ini ada banyak cara atau model yang telah dikembangkan untuk menganalisis laju erosi seperti USLE (Parveen & Kumar, 2012), AGNPS (Naik, Kumar, & Deshmukh, 2018), LISEM (Ferket *et al.*, 2014), WEPP (Fashi & Ejlali, 2015), RUSLE (Koirala, Thakuri, Joshi, & Chauhan, 2019), dan MUSLE (Zhang, *et al.*, 2009). Setiap model erosi memiliki kelebihan dan keterbatasannya masing-masing (Tabel 1). Merritt, *et al.* (2003) membandingkan 17 model erosi hingga didapatkan fakta bahwa diperlukan sejumlah input data yang banyak dan kompleks untuk mendapatkan realitas erosi yang akurat dengan kondisi di lapangan.

Dari beberapa model erosi, USLE merupakan model yang paling mudah dan ramah untuk digunakan (Alewell, *et al.*, 2019). Selain itu, USLE juga dinilai cukup akurat dan telah digunakan dalam skala

yang luas pada level nasional atau regional (Wang, *et al.*, 2016). Rao, *et al.*, (2015) menggunakan USLE untuk mendapatkan gambaran spasialnya hingga mendapatkan laju erosi di Cina sebesar 9,4 ton/ha/tahun. Sementara itu, Novotný *et al.*, (2016) juga menggunakan USLE untuk memprediksi rata-rata laju erosi di Republik Ceko hingga mendapatkan fakta bahwa tingkat erosinya cukup rendah dengan 50% area didominasi dengan laju erosi di bawah 1 ton/ha/tahun. Pham, *et al.*, (2018) memprediksi erosi di Vietnam yang didominasi oleh Tingkat Bahaya Erosi (TBE) sangat ringan pada luasan 15.788 ha atau 47% dari luas total wilayah yang diteliti. Hacısalıhoğlu, *et al.*, (2010) menggunakan USLE untuk memprediksi rata-rata laju erosi di Turki hingga didapatkan hasil bahwa daerah tersebut tererosi sebesar 7,4 ton/ha/tahun.

Prediksi erosi dengan menggunakan USLE juga diterapkan di beberapa tempat wilayah Indonesia. Saiya, *et al.*, (2016) menduga laju erosi di DAS Wae Heru Ambon didominasi oleh TBE sangat ringan pada 78% dari seluruh wilayah. Paarrang, *et al.*, (2016) memprediksi erosi di DAS Poboya Palu-Parigi didominasi oleh TBE kategori sedang pada 3.483 ha atau 51,9% dari total wilayah. Nugraheni, *et al.*, (2013) memprediksi erosi di DAS Keduang Wonogiri hingga didapatkan laju erosi sebesar 164,1 ton/ha/tahun dengan potensi kehilangan tanah 3.227.963,7 ton/tahun pada luasan 42.098,1 ha. Rusnam, *et al.*, (2013) memprediksi erosi di Sub DAS Batang Kandis Padang bahwa 53,3 ha atau 1% dari total wilayah tergolong dalam erosi berat. Selain itu Auliyani & Wijaya (2017) menggunakan

Tabel (Table) 1. Macam-macam model prediksi erosi (*Various model of erosion prediction*)

Model (Model)	Variabel Input/ Persamaan Empiris (Input Variable/ Empirical Equation)	Kelebihan (Advantages)	Keterbatasan (Limitations)	Literatur (Literature)
USLE (<i>Universal Soil Loss Equation</i>)	Curah hujan, erodibilitas tanah, kemiringan lereng, tutupan lahan $A = R K L S C P$	<ul style="list-style-type: none"> Mudah dikelola, realtif sederhana Input atau parameter yang dibutuhkan relatif sedikit Diterima dan digunakan secara luas 	<ul style="list-style-type: none"> Over estimasi bila terdapat subjektivitas penggunaan data atau karena penggunaan peta skala kecil Tidak dirancang untuk memprediksi erosi parit 	Alewell, et al., 2019
MUSLE (<i>Modified Universal Soil Loss Equation</i>)	Iklim, tanah, vegetasi, topografi, run off $Y = 11,8 (Q q_p)^{0,56} K L S C P$	<ul style="list-style-type: none"> Dapat memasukkan variabel kerapatan alur Dapat menghitung deposisi sedimen 	<ul style="list-style-type: none"> Memperkirakan erosi terbatas pada lahan dalam bentuk lembar (sheet erosion) 	Rizalihadi, et al., 2013
RUSLE (<i>Revised Universal Soil Loss Equation</i>)	Iklim, data DEM, jenis tanah, vegetasi penutup lahan $A = R K L S C P$ $REI_{30} = (KE)I_{30}/100$	<ul style="list-style-type: none"> Parameter yang dibutuhkan bisa didapat dari satelit sehingga mudah diintegrasikan 	<ul style="list-style-type: none"> Tidak mampu mengatur rute sedimen melalui saluran sehingga aplikasi terbatas pada area kecil 	Swamy, et al., 2017
MEDALUS (<i>Mediterranean Desertification and Land Use Research Program Model</i>)	Iklim, tanah, vegetasi, topografi $DSI = (VQI \times SQI \times CQI \times MQI)^{1/4}$	<ul style="list-style-type: none"> Mampu mengevaluasi proses desertifikasi, simulasi hidrologi, erosi, dan atmosfer 	<ul style="list-style-type: none"> Hanya cocok untuk DAS dengan skala kecil 	Lahlaoui, et al., 2017
AGNPS (<i>Agricultural Non-Point Source Model</i>)	Iklim, tanah, topografi, tata guna lahan $SL = (EI) K L S C P$	<ul style="list-style-type: none"> Dapat memprediksi erosi secara akurat di seluruh DAS Dapat mensimulasikan berbagai kondisi biofisik DAS 	<ul style="list-style-type: none"> Keluaran untuk erosi dan sedimen menggunakan satuan desimal yang terlalu sedikit (hanya 1) 	Naik, et al., 2018
WaTEM/SEDEM (<i>Water and Tillage Erosion Model/Sediment Delivery Model</i>)	Iklim, tanah, tutupan lahan, peta jaringan sungai $SL = R K L S_{2l} C P$	<ul style="list-style-type: none"> Input data yang dibutuhkan relatif sedikit Dapat mensimulasikan efek konservasi tanah 	<ul style="list-style-type: none"> Hanya cocok untuk DAS dengan skala kecil Perlu informasi rinci mengenai tutupan lahan 	Alewell et al., 2019
WEPP (<i>Water Erosion Prediction Project</i>)	Iklim, tanah, topografi, saluran $NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}$	<ul style="list-style-type: none"> Mampu mensimulasikan proses fisik: erosi tanah, limpasan, sedimen, dll 	<ul style="list-style-type: none"> Ketidakmampuan mensimulasikan proses yang terjadi secara permanen 	Han, et al., 2016
SWAT (<i>Soil and Water Assesment Tool</i>)	Data DEM, peta batas DAS dan jaringan sungai, peta tataguna lahan dan peta jenis tanah	<ul style="list-style-type: none"> Mampu memprediksi pengaruh manajemen lahan pada limpasan air, sedimen DAS dalam periode panjang 	<ul style="list-style-type: none"> Perlu melakukan kalibrasi dan validasi sesuai dengan ketersediaan data 	Arnold, et al., 2012

USLE untuk memprediksi erosi dan sedimen lalu membandingkannya dengan pengukuran langsung di Sub DAS Lowereng Kebumen hingga didapatkan hasil bahwa perhitungan sedimen menggunakan metode USLE dengan formulasi Lenvain (3,5 ton/ha) tiga kali lebih besar daripada pengukuran langsung (1,2 ton/ha).

Metode USLE juga diaplikasikan di Provinsi Jawa Timur untuk memprediksi erosi di beberapa wilayah. Novitasari, *et al.*, (2019) memprediksi erosi di DAS Brantas didominasi TBE sangat ringan pada 76,1% dari total luas wilayah atau 733.579 ha dengan nilai laju erosi sebesar 1 ton/ha/tahun. Filahmi (2016) memprediksi erosi di wilayah Unit Pelaksana Teknis (UPT) Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) Madiun didominasi oleh TBE sangat ringan dengan luas 97,7% dari total wilayah dengan laju erosi 0,1 mm/tahun. Kartika, *et al.*, (2016) memprediksi laju erosi di 2 sub DAS identik yaitu Sub DAS Kloposawit dan Sub DAS Rawatamtu hingga didapatkan hasil bahwa kedua sub DAS didominasi oleh erosi dengan TBE sangat ringan, yaitu 0-15 ton/ha/tahun pada 509,2 km² atau 70,6% dari total luas wilayah di Sub-DAS Kloposawit dan 522,1 km² atau 66,9% dari total luas wilayah di Sub DAS Rawatamtu. Erosi di seluruh Provinsi Jawa Timur juga diprediksi oleh Taslim, *et al.*, (2019) sehingga didapatkan hasil bahwa rata-rata laju erosi sebesar 10,3 ton/ha/tahun dan didominasi oleh erosi kelas sangat ringan seluas 78,7% dari total luas wilayah.

Beragam penelitian telah menunjukkan bahwa USLE mampu memprediksi erosi dalam skala luas. Maka dari itu model

USLE digunakan untuk memprediksi erosi di wilayah Tapal Kuda. Prediksi erosi ditinjau berdasarkan faktor erosivitas hujan, erodibilitas tanah, panjang dan kemiringan lereng serta faktor penggunaan lahan. Sejauh ini faktor penggunaan lahan dinilai cukup berubah secara signifikan seiring perkembangan zaman. Hal ini berdampak pada erosi yang akan terjadi di kemudian hari. Selain itu luas area penggunaan lahan diduga berpengaruh terhadap laju erosi. Namun sejauh ini masih belum ada penelitian yang mengkaji pengaruh luas penggunaan lahan terhadap laju erosi. Penelitian-penelitian sebelumnya hanya fokus untuk menganalisis pengaruh variasi jenis penggunaan lahan terhadap laju erosi. Maka dari itu, perlu dilakukan kajian untuk menganalisis secara mendalam mengenai pengaruh luas penggunaan lahan terhadap laju erosi di beberapa DAS wilayah Tapal Kuda. Analisis tersebut akan bermanfaat bagi *stakeholder* setempat, pemangku kepentingan dan peneliti lain untuk meminimalkan terjadinya erosi sejak dini.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Analisis data untuk penelitian ini dilakukan selama bulan April – Juli 2019. Lokasi penelitian dilaksanakan pada 15 DAS di wilayah Tapal Kuda Provinsi Jawa Timur (Gambar 1) yang meliputi Kabupaten Lumajang, Probolinggo, Jember, Banyuwangi, Situbondo, dan Bondowoso. DAS yang dianalisis antara lain (1) DAS Klopo Sawit, (2) DAS Deluang, (3) DAS Karangdoro, (4) DAS Tambong, (5) DAS Stail, (6) DAS Boma Bawah, (7) DAS

Boma Atas, (8) DAS Bajul Mati, (9) DAS Mujur, (10) DAS Karang Asem, (11) DAS Sanenrejo, (12) DAS Mayang, (13) DAS Rondodinggo, (14) DAS Pekalen, dan (15) DAS Kramat (Gambar 1).

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah (1) data hujan tahunan dengan periode rekam mulai tahun 2005 sampai 2014, (2) peta jenis tanah, (3) peta tata guna lahan dari peta Rupa Bumi Indonesia tahun 2017 dengan skala 1:25.000, dan (4) data ASTER G-DEM dengan resolusi 30x30 m. Peralatan yang digunakan untuk analisis meliputi (1) PC (*Personal Computer*), (2) perangkat lunak Excel dan (3) perangkat lunak GIS (*Geographic Information System*).

C. Metode Penelitian

Tahapan penelitian meliputi pengumpulan dan pengolahan data,

perhitungan laju erosi dengan metode USLE, serta menghitung laju erosi berdasarkan jenis penggunaan lahan.

1. Pengumpulan dan Pengolahan Data

a. Data curah hujan

Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan tahunan dengan panjang periode rekaman mulai tahun 2005-2014. Data curah hujan digunakan untuk menghitung nilai R (faktor erosivitas hujan). Berikut ini perhitungan faktor R menggunakan persamaan dari Bols (Teh, 2011):

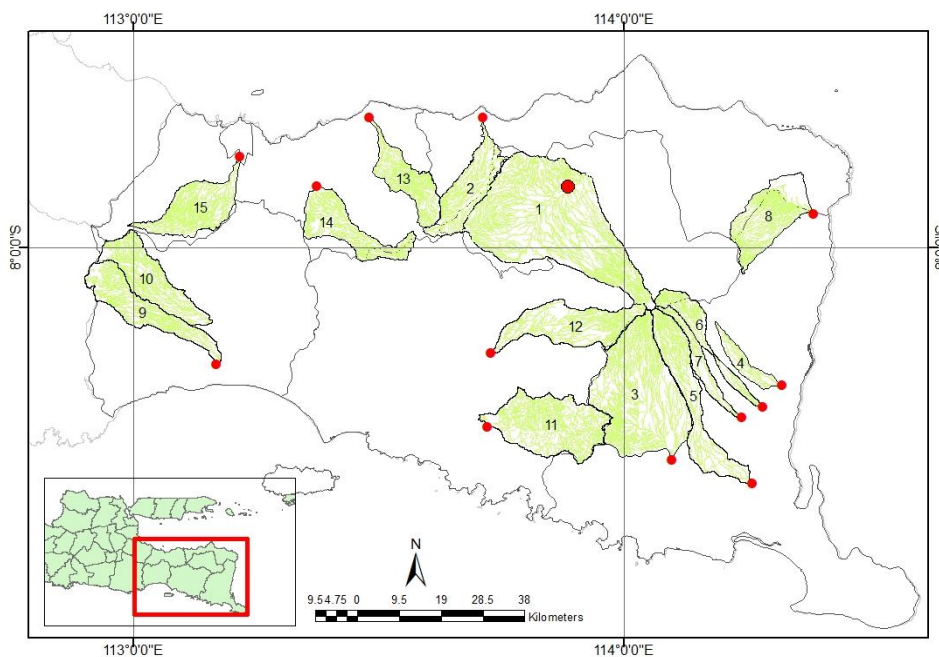
$$R = \frac{2.5 P^2}{100(0,073P+0,73)} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan (*Remarks*):

R = Indeks erosivitas rata-rata pertahun (MJ.mm/tahun)

P = Curah hujan rata-rata tahunan (mm/tahun)

Setelah diketahui nilai R masing-masing stasiun hujan, maka selanjutnya digunakan sebagai nilai R wilayah yang



Gambar (Figure) 1. Lokasi penelitian wilayah Tapal Kuda di Provinsi Jawa Timur (*Research area at Tapal Kuda, East Java Province*)

Sumber (Source): Tim penyusun peta wilayah Tapal Kuda (*Tapal Kuda mapping tim*) (2019)

ditentukan dengan metode IDW (*Inverse Distance Weighted*). Prosedur interpolasi IDW mengikuti metode yang sudah dilakukan (Indarto, 2011).

b. Peta jenis tanah

Peta jenis tanah diinterpretasi menggunakan MapInfo Profesional versi 11.0 untuk menentukan jenis tanah dan nilai K (faktor erodibilitas tanah). Kemudian nilai K diinput sebagai data atribut tabel dan dikonversi menjadi raster menggunakan tools *polygont to raster* pada ArcGIS. Penentuan kelas tanah dianalisis berdasarkan tabel klasifikasi nilai k pada Ashari (2013).

c. Data *Digital Elevation Model* (DEM)

Data DEM didapatkan dari data ASTER GDEM2 yang digunakan untuk menghitung nilai LS (faktor panjang dan kemiringan lereng). Data DEM diturunkan menjadi kemiringan lereng (*slope*), arah aliran (*flow direction*), dan akumulasi aliran (*flow accumulation*). Selanjutnya faktor LS dihitung dengan menggunakan *raster calculator* sesuai dengan persamaan (Belasri & Lakhouili, 2016):

$$LS = \frac{(FA \times Cellsize)^{0.4}}{22.13} \times \frac{(\sin slope)^{1.3}}{0.0896} \dots (2)$$

Keterangan (*Remarks*):

- LS = Faktor panjang dan kemiringan lereng
- FA = Akumulasi aliran
- Cellsize = Ukuran piksel
- Slope = Kemiringan lereng (°)

Tabel (Table) 2. Nilai faktor pengelolaan tanaman dan tindakan konservasi (*Value of crop management factor and conservation practices*)

Nomor (Number)	Konservasi dan pengelolaan tanaman (<i>Crop management factor and conservation actions</i>)	Nilai CP (Value of CP)
1	Hutan tak terganggu	0,01
2	Hutan tanpa tumbuhan bawah disertai seresah	0,05
3	Hutan tanpa tumbuhan bawah tanpa seresah	0,50
4	Semak tak terganggu	0,01
5	Sebagian berumput	0,10
6	Kebun talun	0,02
7	Kebun pekarangan	0,20
8	Perkebunan penutup lahan sempurna	0,01
9	Perkebunan penutup lahan sebagian	0,07
10	Perumputan penutup lahan sempurna	0,01
11	Perumputan penutup lahan sebagian ditumbuhi alang-alang	0,02
12	Perumputan alang-alang	0,06
13	Perumputan serai wangi	0,65
14	Tanaman pertanian umbi-umbian	0,51
15	Tanaman pertanian biji-bijian	0,51
16	Tanaman pertanian kacang-kacangan	0,36
17	Tanaman campuran	0,43
18	Tanaman padi irigasi	0,02
19	Perladangan 1 tahun tanam 1 tahun bero	0,28
20	Perlandangan 1 tahun tanam 2 tahun bero	0,19
21	Mulsa	0,14
22	Teras bangku	0,04
23	Contour cropping	0,14
24	Lahan terbuka	1,00
25	Pemukiman	1,00
26	Pertambangan	0,35
27	Badan air	0,01

Sumber (*Source*): Asdak (2002), Fahliza, et al. (2013)

d. Peta tata guna lahan

Peta tata guna lahan digunakan untuk menentukan nilai penggunaan lahan sebagai satuan unit poligon, sedangkan nilai CP ditentukan berdasarkan kriteria pada Tabel 2. Kemudian nilai CP diinput sebagai data atribut tabel dan dikonversi menjadi raster pada ArcGIS.

2. Perhitungan Laju Erosi dengan Metode USLE

Metode USLE mampu memprediksi laju erosi dengan mempertimbangkan faktor erosivitas curah hujan (R), erodibilitas jenis tanah (K), kemiringan dan panjang lereng (LS), serta faktor pengelolaan tanaman dan tindakan konservasi (CP). Prediksi laju erosi dengan metode USLE menurut Wischmeier & Smith (1978) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$A = R \times K \times L \times S \times CP \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan (*Remarks*):

- A = Jumlah tanah yang hilang rata-rata setiap tahun (ton/ha/tahun)
- R = Faktor erosivitas curah hujan
- K = Faktor erodibilitas tanah
- LS = Aktor panjang dan kemiringan lereng
- CP = Faktor pengelolaan tanaman dan tindakan konservasi

3. Perhitungan Laju Erosi Berdasarkan Jenis Penggunaan Lahan

Berdasarkan perhitungan faktor CP (*Cover Management and Practice Factor*) atau pengelolaan tanaman dan tindakan konservasi yang telah dilakukan, maka didapatkan data hasil pengelolaan tanaman dan tindakan konservasi tanah pada masing-masing DAS dalam bentuk

presentase luasan. Kemudian data tersebut diplot satu persatu berdasarkan jenis pengelolaan tanaman dan tindakan konservasi. Dalam hal ini, peneliti memilih 4 sampel jenis CP (faktor pengelolaan tanaman dan tindakan konservasi) yang nilai faktornya cukup jauh supaya terlihat perbandingannya yaitu pemukiman, perkebunan, sawah, dan hutan.

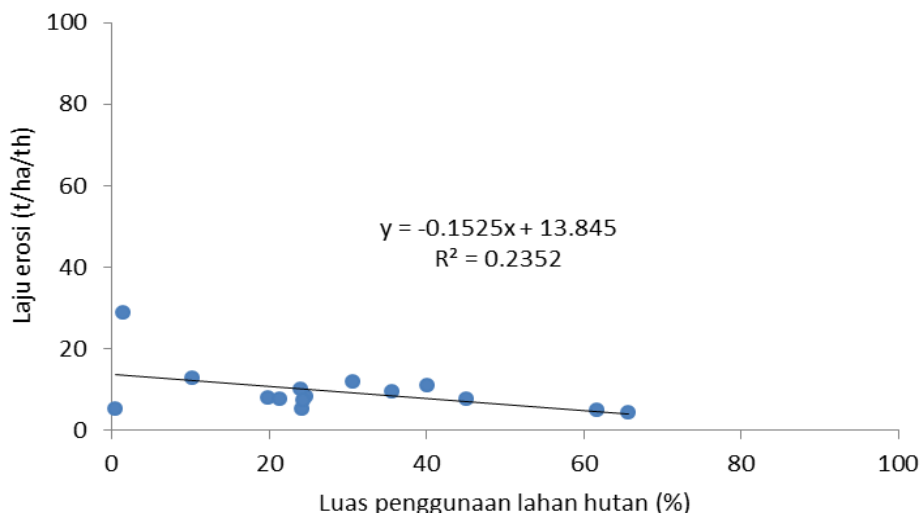
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Erosi terjadi karena berbagai faktor, salah satunya adalah faktor CP atau pengelolaan tanaman dan tindakan konservasi. Jenis CP atau pengelolaan tanaman dan tindakan konservasi yang dianalisis adalah hutan, sawah, perkebunan dan pemukiman.

a. Hutan

Hutan menurut Undang-Undang No. 41 tahun 1999 merupakan suatu kesatuan ekosistem berupa hamparan lahan berisi sumber daya alam hayati yang didominasi pepohonan dalam persekutuan alam lingkungannya, yang satu dengan lainnya tidak dapat dipisahkan. Hutan berperan penting dalam mengurangi risiko erosi, longsor dan banjir yang terjadi di DAS karena hutan merupakan penutup lahan yang paling baik dalam mencegah erosi daripada penggunaan lahan lainnya seperti sawah, perkebunan dan pemukiman (Liu *et al.*, 2018).

Penggunaan areal luasan hutan berpengaruh terhadap laju erosi. Antara variabel luas hutan dan laju erosi memiliki koefisien determinasi (R²) dengan nilai 0.23 dari rentang korelasi 0 – 1.0 (Gambar 2). Hal ini mengandung pengertian bahwa 23% perubahan/variasi output (laju erosi) dipengaruhi oleh input (luas hutan)



Gambar (Figure) 2. Pengaruh luas hutan terhadap laju erosi rata-rata (*Effect of forest area on the average erosion rate*)

Sumber (Source): Analisis data (Data Analysis), 2019

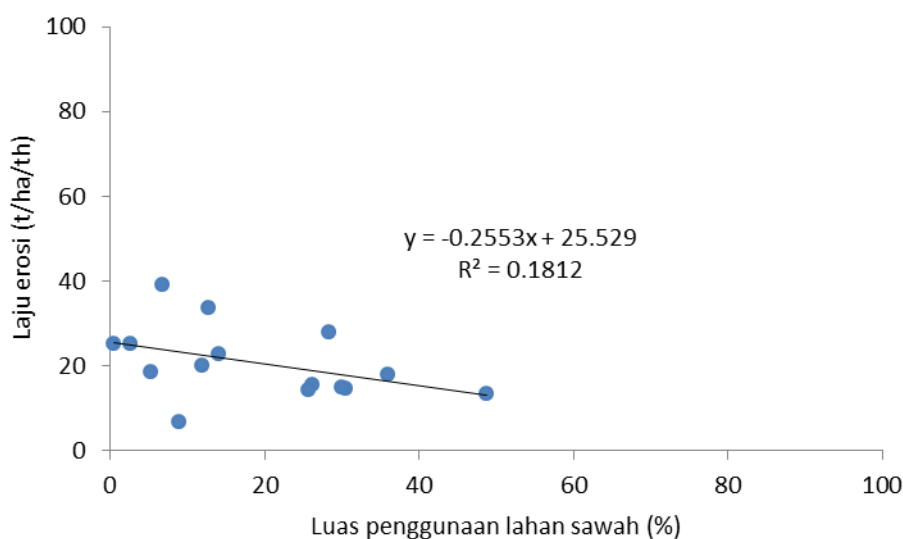
sehingga semakin luas areal hutannya maka laju erosi semakin rendah. Apabila luas hutan berkurang maka tidak saja menyebabkan meningkatnya erosi tanah, namun juga akan menyebabkan berkurangnya wilayah resapan air sehingga terjadi penurunan kapasitas penyimpanan air yang dapat meningkatkan terjadinya erosi (Salim, Dharmawan, & Narendra, 2019). Laju erosi yang disebabkan oleh penggunaan areal hutan pada 15 DAS Wilayah Tapal Kuda berkisar antara 4-29 ton/ha/tahun yang mayoritas berada pada jenis tanah mediteran, regosol kelabu serta litosol.

Untuk jenis tanah dengan solum yang tergolong sedang hingga dalam seperti tanah mediteran, jumlah erosi tersebut tergolong pada tingkat bahaya erosi sangat ringan sampai sedang, namun untuk tanah litosol dengan solum dangkal maka rentang nilai laju erosi tersebut tergolong berat hingga sangat berat. Dari 15 sampel DAS, hanya terdapat 3 DAS yang laju erosinya lebih dari 10

ton/ha/tahun, yaitu pada DAS Kramat (29 ton/ha/tahun), DAS Deluang (11 ton/ha/tahun) dan DAS Rondodinggo (11 ton/ha/tahun). Areal hutan di DAS Kramat yang laju erosinya tinggi disebabkan karena banyak pohon yang ditebang sehingga mengakibatkan hutan menjadi gundul. Areal hutan di DAS Deluang dan DAS Rondodinggo memiliki laju erosi yang lebih tinggi daripada areal hutan di DAS-DAS lainnya karena ia berada di wilayah lereng Pegunungan Argopuro yang saat ini keadaan hutannya banyak dialihfungsikan menjadi bentuk penggunaan lahan lain seperti kebun teh dan kopi

b. Sawah

Mayoritas penduduk di wilayah Tapal Kuda bekerja sebagai petani/buruh tani sehingga tidak mengherankan bila sebagian besar wilayahnya digunakan sebagai lahan pertanian atau sawah. Sawah memiliki nilai faktor CP sebesar 0.02 yang berarti lebih besar daripada hutan dan lebih kecil daripada pemukiman dan perkebunan.



Gambar (Figure) 3. Pengaruh luas sawah terhadap laju erosi rata-rata (*Effect of rice field area on the average erosion rate*)

Sumber (Source): Analisis data (*Data Analysis*), 2019

Penggunaan areal luasan sawah berpengaruh terhadap laju erosi. Antara variabel luas sawah dan laju erosi memiliki nilai R^2 sebesar 0,2 dengan rentang korelasi 0 – 1,0 (Gambar 3). Hal ini mengandung pengertian bahwa 18% perubahan/variasi output (laju erosi) dipengaruhi oleh input (luas sawah). Meskipun nilai korelasinya kecil, namun garis kecenderungan (*trendline*) menunjukkan bahwa semakin luas sawah maka semakin rendah laju erosinya. Namun luas penggunaan lahan hutan terhadap laju erosi masih lebih besar pengaruhnya daripada penggunaan lahan sawah terhadap laju erosi

Laju erosi yang disebabkan oleh penggunaan areal sawah berkisar antara 7-39 ton/ha/tahun dengan mayoritas jenis tanah regosol dan latosol. Terdapat 6 DAS yang laju erosinya tergolong ringan (0-15 ton/ha/tahun) dan terdapat 9 DAS yang laju erosinya tergolong sedang (15-60 ton/ha/tahun). Laju erosi di area sawah

tergolong rendah-sedang karena mayoritas area lahan sawah di wilayah Tapal Kuda umumnya telah dilakukan pembuatan teras bangku konstruksi. Pembuatan teras bangku ini berfungsi untuk mengurangi panjang lereng dan menahan air sehingga mampu mengurangi kecepatan jumlah aliran permukaan yang berdampak pada berkurangnya erosi (Dewi, Trigunasih, & Kusmawati, 2012).

c. Perkebunan

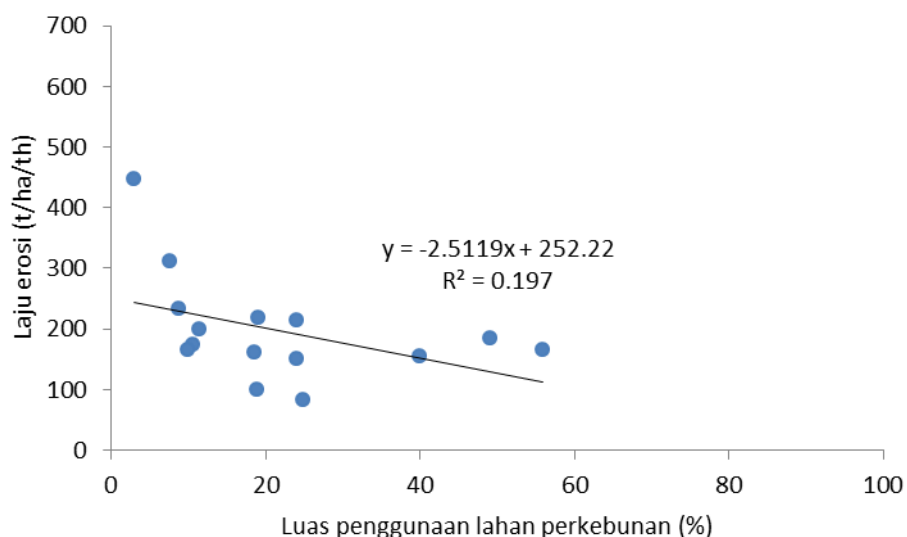
Di wilayah Tapal Kuda, umumnya lahan diperuntukkan sebagai perkebunan karena iklim yang cocok untuk ditanami berbagai macam tanaman agroforestri seperti kopi, kakao, tembakau, dan tebu (Mulasari & Arifin, 2015). Namun perkebunan harus tetap dijaga komposisi tanaman perkebunannya untuk menghindari terjadinya erosi. Perkebunan memiliki nilai faktor CP sebesar 0,3 yang berarti lebih besar daripada sawah dan

hutan serta lebih kecil daripada pemukiman. Penggunaan areal luasan perkebunan berpengaruh terhadap laju erosi meski kecil. Antara variabel luas perkebunan dan laju erosi memiliki koefisien korelasi dengan nilai 0.19 dari rentang korelasi 0 – 1.0 (Gambar 4).

Hal ini mengandung pengertian bahwa 19% perubahan/variasi output (laju erosi) dipengaruhi oleh input (luas perkebunan).

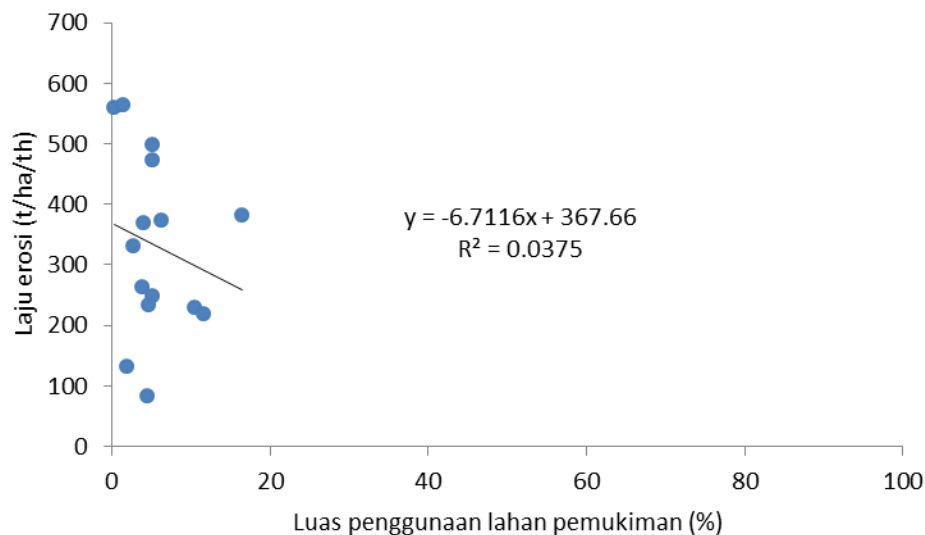
Meskipun nilai korelasinya kecil, kedua variabel tersebut tetap memiliki kecenderungan bahwa semakin luas perkebunan maka semakin rendah laju erosinya. Namun pengaruh luas penggunaan lahan hutan terhadap laju erosi masih lebih besar daripada penggunaan lahan perkebunan terhadap laju erosi. Laju erosi yang disebabkan oleh penggunaan lahan perkebunan berkisar antara 84-448 ton/ha/tahun yang tergolong erosi sedang dan berat. Nilai laju erosi tersebut telah melebihi batas erosi yang diperbolehkan. Maka dari itu

perlu perencanaan konservasi untuk mengurangi laju erosi yang terjadi. Tindakan konservasi dapat dilakukan secara mekanik dan vegetatif. Tindakan konservasi secara mekanik dapat dilakukan dengan cara pembuatan teras yang dapat berfungsi untuk mengurangi panjang lereng dan menahan air (Subagyo, Marwanto, & Kurnia, 2003). Tindakan konservasi secara vegetatif dapat dilakukan dengan cara penerapan pola tanaman yang terencana sehingga dapat menutup permukaan tanah dengan baik, salah satu contohnya adalah dengan cara menanam tanaman keras seperti pohon jati dan mahoni pada wilayah DAS-DAS Tapal Kuda dengan tingkat bahaya erosi sedang dan berat (Dianasari, Andawayanti, & Cahya, 2018). Selain penanaman tanaman keras, penanaman tanaman penutup tanah diperlukan untuk mencegah pukulan air hujan terhadap permukaan tanah secara langsung yang dapat menyebabkan erosi.



Gambar (Figure) 4. Pengaruh luas perkebunan terhadap laju erosi rata-rata (Effect of plantation area on average erosion rate)

Sumber (Source): Analisis data (Data Analysis), 2019



Gambar (Figure) 5. Pengaruh luas pemukiman terhadap laju erosi rata-rata (*Effect of settlement on average erosion rate*)

Sumber (Source): Analisis data (*Data Analysis*), 2019.

d. Pemukiman

Adanya pemukiman membuat lahan menjadi tertutup sehingga minim serapan air yang mengakibatkan tingginya limpasan permukaan (*run off*). Energi dari limpasan permukaan (*run off*) yang tinggi ini akan mengikis tanah yang tidak tertutup sehingga mengakibatkan lahan rentan mengalami erosi. Pemanfaatan lahan secara berlebihan dan tidak memperhatikan kaidah konservasi tanah dan air akan berdampak pada perubahan kinerja DAS karena akan menyebabkan terjadinya erosi (Wahyuningrum & Putra, 2018). Pemukiman memiliki nilai CP tertinggi di antara faktor CP lainnya, yaitu bernilai 1 yang menandakan bahwa penggunaan lahan tersebut sangat berpengaruh terhadap terjadinya laju erosi.

Berdasarkan analisis terkait pengaruh luas penggunaan lahan pemukiman terhadap laju erosi di 15 DAS diperoleh fakta yang menarik bahwa tidak terdapat

pengaruh yang signifikan antara kedua variabel tersebut (Gambar 5). Nilai koefisien korelasi yang didapat adalah 0.03 atau cenderung mendekati 0 dalam rentang korelasi 0 – 1.0. Dalam hal ini dapat dinyatakan bahwa luas penggunaan lahan pemukiman tidak berpengaruh secara nyata terhadap laju erosi. Namun nilai erosi akibat penggunaan lahan pemukiman tergolong dalam TBE berat dan sangat berat yaitu berada pada rentang 82-563 ton/ha/tahun. Hal ini disebabkan oleh wilayah Tapal Kuda yang masih didominasi area pedesaan sehingga masih banyak lahan terbuka yang rentan terjadi erosi.

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa luasan hutan, sawah, perkebunan dan pemukiman di 15 DAS wilayah Tapal Kuda memiliki korelasi yang berbeda-beda terhadap laju erosi. Untuk penggunaan lahan hutan didapatkan fakta bahwa semakin luas areal hutannya maka

semakin rendah laju erosinya. Sementara itu, penggunaan lahan sawah dan perkebunan juga berpengaruh terhadap laju erosi, namun tidak lebih besar daripada pengaruh luas hutan terhadap laju erosi. Untuk penggunaan lahan pemukiman di wilayah Tapal kuda yang didominasi area pedesaan, didapatkan fakta bahwa luas penggunaan lahan pemukiman tidak berpengaruh secara nyata terhadap laju erosi namun nilai/besaran laju erosi di wilayah pemukiman cenderung lebih tinggi daripada di wilayah penggunaan lahan lainnya. Fakta dan temuan pada penelitian ini menarik untuk dikembangkan lebih lanjut, yaitu menganalisis korelasi antara persentase masing-masing faktor erosi terhadap laju erosi di suatu cakupan wilayah DAS dengan mempertimbangkan faktor geomorfologinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Hibah DRPM Kementerian Ristek Dikti oleh skim Penelitian Pasca Sarjana – Penelitian Tesis Mahasiswa (PPS-PTM) tahun anggaran 2019 melalui SK nomor 07/E/KPT/2019 dengan nomor kontrak DRPM 061/SP2H/LT/2019 dan nomor surat penugasan 1846/UN25.3.1/LT/2019 atas nama Indarto, berjudul Pengembangan Indeks Resiko Erosi: Studi Pada DAS-DAS di Wilayah Tapalkuda. Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam terlaksananya penelitian antara lain Magister Pengelolaan Sumber Daya Air Pertanian Pascasarjana Universitas Jember, Dinas PU Pengairan Provinsi, BIG, Balai Penelitian Hidrologi dan Sumberdaya

air, BPDASHL Brantas Sampean, LP2M UNEJ, DRPM-Dikti, dan mahasiswa Pascasarjana dan Jurusan TEP FTP Universitas Jember yang telah membantu dalam analisis data.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, E., Syechalad, M. N., & Hamzah, A. (2018). Pengaruh jumlah penduduk, tingkat pengangguran dan tingkat pendidikan terhadap kemiskinan di Provinsi Aceh. *Jurnal Perspektif Ekonomi Darussalam*, 4(2), 265–283.
<https://doi.org/10.24815/jped.v4i2.13022>
- Alewel, C., Borrelli, P., Meusburger, K., & Panagos, P. (2019). Using the USLE: chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(3), 1–23.
<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>
- Alibasyah, M. R., & Karim, A. (2013). Degradasi lahan akibat erosi pada areal pertanian di Kecamatan Lembah Seulawah Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan*, 2(3), 240–249.
- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., ... Jha, M. K. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 55(4), 1491–1508.
- Asdak, C. (2002). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ashari, A. (2013). Kajian tingkat erodibilitas beberapa jenis tanah di Pegunungan Baturagung Desa Putat

- dan Nglanggeran Kecamatan Patuk Kabupaten Gunungkidul. *Jurnal Informasi*, 39(2), 15–31. <https://doi.org/10.21831/informasi.v0i2.4441>
- Auliyani, D., & Wijaya, W. W. (2017). Perbandingan prediksi hasil sedimen menggunakan pendekatan model universal soil loss equation dengan pengukuran langsung. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Journal of Watershed Management Research)*, 1(1), 61–71.
- Belasri, A., & Lakhouili, A. (2016). Estimation of soil erosion risk using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and geo-information technology in Oued El Makhazine Watershed, Morocco. *Journal of Geographic Information System*, 08(01), 98–107. <https://doi.org/10.4236/jgis.2016.81010>
- BPS. (2018). *Statistik Indonesia 2018*. Jakarta: BPS.
- Dewi, I. G. A. S. U., Trigunasih, N. M., & Kusmawati, T. (2012). Prediksi erosi dan perencanaan konservasi tanah dan air pada Daerah Aliran Sungai Saba. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 1(1), 12–23.
- Dianasari, Q., Andawayanti, U., & Cahya, evi nur. (2018). Pengendalian erosi dan sedimen dengan arahan konservasi lahan di DAS Genting Kabupaten Ponorogo. *Jurnal Teknik Pengairan*, 9(2).
- Dinas Kehutanan Jawa Timur. (2016). *Statistik Dinas Kehutanan Provinsi Jawa Timur Tahun 2012-2016*.
- Dwiprabowo, H., Djaenudin, D., Alviya, I., & Wicaksono, D. (2014). Dinamika tutupan lahan: Pengaruh Faktor sosial ekonomi. In *PT Kanisius*, Yogyakarta, Indonesia.
- Fahliza, U., Anugerah, P., & Dwi, D. (2013). Analisis erosi pada Sub DAS Lematang Hulu. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 1(1), 32–39.
- Fashi, F. H., & Ejlali, F. (2015). Evaluating spatial distribution of soil erosion using WEPP erosion model and GIS tools: a Review. *Agricultura*, 95(3–4), 123–133. <https://doi.org/10.15835/arspa.v95i3-4.11790>
- Ferket, B., Van De Broek, M., Van Hoestenbergh, T., Degerickx, J., De Sutter, R., Govers, G., Deproost, P. (2014). Erosion modelling towards, and sediment transport modelling in unnavigable watercourses in Flanders, Belgium. *IAHS-AISH Proceedings and Reports*, 367(December 2014), 349–356. <https://doi.org/10.5194/piahs-367-349-2015>
- Filahmi, F. B. (2016). *Analisis spasial pemodelan Universal Soil Loss Equation (USLE) di Wilayah UPT PSDA Madiun (Studi Kasus DAS Madiun-Ngawi)*.
- Hacisalihoğlu, S., Mert, A., Negiz, M. G., & Muys, B. (2010). Soil loss prediction Using Universal Soil Loss Equation (USLE) simulation model in A Mountainous Area in Ağlasun District, Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 9(24), 3589–3594.
- Han, F., Ren, L., Zhang, X., & Li, Z. (2016). The WEPP model application in a small watershed in the Loess Plateau. *PLoS ONE*, 11(3), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148445>
- Idjudin, A. A. (2011). Peranan konservasi lahan dalam pengelolaan perkebunan. *Jurnal Sumberdaya*

- Lahan, 5(2). <https://doi.org/10.2018/jSDL.v5i02.171>
- Indarto, I. (2011). *Tutorial interpolasi data menggunakan Metode Inverse Data Weigthing (IDW) dan ArcGIS Geo statistical Analysis*. UNEJ Press.
- Kartika, I., Indarto, I., Pudjojono, M., & Ahmad, H. (2016). Pemetaan tingkat bahaya erosi pada level Sub-DAS: Studi pada dua DAS identik. *Jurnal Agroteknologi*, 10(01). <https://doi.org/10.1007/s00726-017-2444-z>
- Koirala, P., Thakuri, S., Joshi, S., & Chauhan, R. (2019). Estimation of soil erosion in Nepal using a RUSLE modeling and geospatial tool. *Geosciences (Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/geosciences9040147>
- Lahlaoui, H., Rhinane, H., Hilali, A., Lahssini, S., & Moukrim, S. (2017). Desertification assessment using MEDALUS model in Watershed Oued El Maleh, Morocco. *Geosciences*, 7(3), 50. <https://doi.org/10.3390/geosciences7030050>
- Liu, J., Gao, G., Wang, S., Jiao, L., Wu, X., & Fu, B.-J. (2018). The effects of vegetation on runoff and soil loss: Multidimensional structure analysis and scale characteristics. *Journal of Geographical Sciences*, 28(1), 59–78. <https://doi.org/10.1007/s11442-018-1459-z>
- Mawardi, I. (2010). Kerusakan daerah aliran sungai dan penurunan daya dukung sumberdaya air di Pulau Jawa Serta Upaya Penanganannya. *Jurnal Hidrosfir Indonesia*, 5(2), 1–11.
- Mazazatu, R dan Yudo, P. H. (2015). Penentuan tingkat lahan kritis menggunakan metode pemboboan dan algoritma NDVI (Studi Kasus: Sub DAS Garang Hulu). *Jurnal Geodesi Undip*, 16(3), 243–246. [https://doi.org/10.1016/0364-6408\(92\)90034-P](https://doi.org/10.1016/0364-6408(92)90034-P)
- Merritt, W. S., Letcher, R. A., & Jakeman, A. J. (2003). A review of erosion and sediment transport Models. *Environmental Modelling and Software*, 18(8–9), 761–799. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00078-1)
- Miklanek, P., Pekarova, P., Konicek, A., & Pekar, J. (2004). Research note: Use of A Distributed Erosion Model (AGNPS) for planning small reservoirs in the Upper Torysa Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(6), 1186–1192. <https://doi.org/10.5194/hess-8-1186-2004>
- Mulasari, M., & Arifin, E. B. (2015). Perkebunan Kayumas PTPN XII dan pengaruhnya terhadap masyarakat Desa Kayumas Kecamatan Arjasa Kabupaten Situbondo Tahun 1996-2010. *Publika Budaya*, 1(3), 86–96.
- Mulyani, A., Kuncoro, D., Nyrtsyamsi, D., & Agus, F. (2016). Analisis konversi lahan sawah: Penggunaan data spasial resolusi tinggi memperlihatkan laju konversi yang mengkhawatirkan. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 40(2), 121–133. <https://doi.org/10.1093/nq/s4-11.40.329-b>
- Mulyono, A. (2009). Perkiraan Tingkat erosi tanah di Sub DAS Besai, Lampung Barat. *Jurnal RisetGeologi Dan Pertambangan*, 19(1), 35. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2009.v19.21>
- Naik, D., Kumar, P., & Deshmukh, A. (2018). Runoff and sediment yield prediction using Agriculture Non-

- Point Source (AGNPS) model in Atagad Watershed, Uttarakhand, India. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 7(1), 2551–2559.
<https://doi.org/10.23953/cloud.ijarsg.346>
- Novitasari, Rohman, M. H., AMbarwati, A. Ay., & Indarto, I. (2019). Aplikasi USLE dan GIS untuk prediksi laju erosi di Wilayah DAS Brantas. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 8(2), 76–85.
- Novotný, I., Žížala, D., Kapička, J., Beitlerová, H., Mistr, M., Kristenová, H., & Papaj, V. (2016). Adjusting the CPmax factor in the Universal Soil Loss Equation (USLE): areas in need of soil erosion protection in the Czech Republic. *Journal of Maps*, 12, 58–62.
<https://doi.org/10.1080/17445647.2016.1157834>
- Nugraheni, A., Sobriyah, & Susilowati. (2013). Perbandingan hasil prediksi laju erosi dengan metode USLE, MUSLE, RUSLE di DAS Keduang. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 318–325.
- Paarrang, L., Hasanah, U., & Monde, A. (2016). Prediksi erosi Daerah Aliran Sungai Poboya. *E-Jurnal Mitra Sains*, 4(1), 66–75.
- Parveen, R., & Kumar, U. (2012). Integrated approach of Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil loss risk assessment in Upper South Koel Basin, Jharkhand. *Journal of Geographic Information System*, 4, 588–596.
<https://doi.org/10.4236/jgis.2012.46061>
- Pemerintah Indonesia. (1999). *Undang-Undang No. 41 tahun 1999 tentang Kehutanan*.
- Pham, 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(2), 99–110.
<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001>
- Prihatin, R. B. (2018). Alih fungsi lahan di perkotaan (Studi kasus di Kota Bandung dan Yogyakarta). *Jurnal Aspirasi*, 6(2), 105–118.
<https://doi.org/10.22212/aspirasi.v6i2.507>
- Rao, E., Xiao, Y., Ouyang, Z., & Yu, X. (2015). National assessment of soil erosion and its spatial patterns in China. *Ecosystem Health and Sustainability*, 1(4), 1–10.
<https://doi.org/10.1890/EHS14-0011.1>
- Rizalihadi, M., Fatimah, E., & Nazia, L. (2013). Modifikasi metode musle dalam estimasi erosi akibat kehadiran alur (rill) dalam suatu DAS. *Konferensi Nasional Teknik Sipil*, (7), 8.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2840.4243>
- Rusnam, R., EKaputra, E. G., & Sitanggang, E. M. (2013). Analisis spasial besaran tingkat erosi pada tiap satuan lahan di Sub DAS Batang Kandis. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*, 10(2), 149.
<https://doi.org/10.25077/dampak.10.2.149-167.2013>
- Saiya, H. G., Dibyosaputro, S., & Santosa, S. H. B. (2016). USLE estimation for potential erosion at Wae Heu Watershed and Wae Tonahitu Watershed, Ambon Island, Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*,

- 48(2), 191–205.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22146/ijg.17619>
- Salim, A. G., Dharmawan, I. W. S., & Narendra, B. H. (2019). Pengaruh perubahan luas tutupan lahan hutan terhadap karakteristik hidrologi DAS Citarum Hulu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 333. <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.333-340>
- Sihite, J. (2001). Evaluasi dampak erosi tanah model pendekatan ekonomi lingkungan dalam perlindungan DAS: Kasus Sub DAS Besai DAS Tulang Bawang Lampung. Institut Pertanian Bogor.
- Simbolon, S. D., Nasution, Z., Rauf, A., & Delvian. (2016). Kerugian ekonomi sebagai dampak erosi di Kawasan Hulu DAS. *Jurnal Ilmiah Ukhuwah*, 11(3), 302–471.
- Srinivasu, B., & Srinivasa Rao, P. (2013). Infrastructure development and economic growth: Prospects and perspective. *Journal of Business Management & Social Sciences Research*, 2(1), 2319–5614.
- Subagyono, K., Marwanto, S., & Kurnia, U. (2003). *Teknik Konservasi tanah secara vegetatif*. Bo: Balai Penelitian Tanah.
- Subekti, R., & Budyatmojo, W. (2015). Perlindungan Lahan pertanian dalam mengantisipasi alih fungsi tanah akibat pengadaaan tanah bagi pembangunan. *Jurnal Yustisia*, 4(2), 439–455.
- Suprayogo, D., Widiyanto, Hairiah, K., & Nita, I. (2017). *Manajemen Daerah Aliran Sungai (DAS): tinjauan hidrologi akibat perubahan tutupan lahan dalam pembangunan*. Malang: UB Press.
- Swamy, Y. A. N., Inayathulla, M., & Shashishankar, A. (2017). Spatial estimation of soil erosion Using RUSLE, RS , and GIS Techniques : A Case Study of T . G . Halli Watershed , Karnataka , India. *International Journal of Engineering Development and Research*, 5(3), 1056–1063.
- Taslim, R. K., Mandala, M., & Indarto, I. (2019). Prediksi erosi di Wilayah Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 323. <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.323-332>
- Teh, S. H. (2011). Soil erosion modeling using RUSLE and GIS on Cameron Highlands, Malaysia for Hydropower Development. *RES | The School for Renewable Energy Science*, 6–8.
- Wahyuningrum, N., & Putra, P. B. (2018). Evaluasi lahan untuk menilai kinerja Sub Daerah Aliran Sungai Rawakawuk. *Jurnal Penelitian Pengelolaan DAS*, 2(1), 1–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.20886/jppdas.2018.2.1.1-16>.
- Wang, B., Zheng, F., & Guan, Y. (2016). Improved USLE-K Factor Prediction: A Case Study on Water Erosion Areas in China. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(3), 168–176. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.08.003>
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978a). *Predicting Rainfall erosion losses: A Guide to conservation planning*. U.S. Department of Agriculture Handbook No. 537 (Agricultur.) (null, Ed.).
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978b). Predicting rainfall erosion losses: A Guide to conservation planning. In *Fresenius Environmental Bulletin*. Maryland: Science and

Education Administration United
States Department of Agriculture.

Zhang, Y., Degroot, J., Wolter, C., &
Ramanathan Sugumaran Sugumaran,
R. (2009). Integration of Modified

Universal Soil Loss Equation (MUSLE)
into a GIS framework to assess soil
erosion risk. *Faculty Publication*, 37,
21.