

Prediksi Erosi di Wilayah Jawa Timur

Rhoshandhayani Koesiyanto Taslim¹, Marga Mandala¹, dan Indarto Indarto*¹

¹Program Studi Magister Pengelolaan Sumberdaya Air Pertanian Pascasarjana Universitas Jember; e-mail: indarto.ftp@unej.ac.id

ABSTRAK

Erosi adalah peristiwa pengikisan tanah yang terjadi secara alamiah. Seiring bertambahnya jumlah penduduk di wilayah Jawa Timur, maka aktivitas konversi fitur peruntukan lahan alami (hutan, perkebunan, pedesaan) menjadi pusat aktivitas manusia (hunian, perkotaan) akan memicu peningkatan erosi. Penilaian potensi erosi secara cepat untuk wilayah yang luas diperlukan dalam rangka perencanaan konservasi lahan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung tingkat erosi di Jawa Timur dengan menggunakan metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) dan GIS. Faktor erosititas hujan (R) dihitung dari interpretasi data hujan. Faktor tanaman (C) dan faktor pengelolaan lahan (P) ditentukan dari peta tataguna lahan. Faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) dihitung dari data ASTER GDEM2. Faktor erodibilitas tanah (K) ditentukan dari analisis peta jenis tanah. Selanjutnya, semua faktor digunakan untuk menghitung tingkat bahaya erosi menggunakan USLE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata laju erosi di wilayah Jawa Timur sebesar 10,30 ton/ha/tahun. Hasil klasifikasi tingkat bahaya erosi (TBE) di Jawa Timur menunjukkan 78,71% dari luas wilayah tergolong kelas sangat ringan (0-15 ton/ha/tahun); 10,75% tergolong kelas ringan 15-60 ton/ha/tahun; 6,39% tergolong pada kelas erosi sedang (60-180 ton/ha/tahun); dan 2,83% tergolong kelas erosi berat (180-480 ton/ha/tahun). Hanya 1,31% wilayah tergolong pada kelas erosi sangat berat (>480 ton/ha/tahun). Hasil penelitian menunjukkan bahwa USLE dapat digunakan untuk prediksi erosi secara cepat pada wilayah yang luas.

Kata kunci: Erosi, USLE, GIS, Jawa Timur

ABSTRACT

Erosion is an event of eroding soil that occurs naturally. However, human activities that change land use from natural (forestry, plantation, rural areas) to urban features can alter the erosion processes. Rapid calculation of erosion level for the wide area is necessary for the management and conservation planning. This research aims to analyze the erosion level in East Java area using USLE (*Universal Soil Loss Equation*) and GIS. The erosivity factor (R) is calculated from rainfall data. Vegetation factor (C) and the conservation factor (P) estimated from land use map. The length and slope factor (LS) are calculated from the ASTER GDEM2, and the erodibility factor (K) is obtained from interpretation of soil map. Furthermore, all factors were analysed to calculate erosion rate. The result shows that the average erosion rate in East Java regions is 10,30 tons/ha/year. The result also show that 78,71% area of East Java is classified as very low erosion rate (0-15 tons/ha/year); 10,75% classified as low erosion rate (15-60 tons/ha/year); 6,39% classified as moderate erosion rate (60-180 tons/ha/year); and 2,83% is severe type (180-480 tons/ha/year). Only 1,31% from the total area is classified as very severe erosion rate (>480 tons/ha/year). The result also shows that USLE can be used to facilitate rapid erosion prediction for wide area.

Keywords: Erosion rate, USLE, GIS, East Java,

Citation Taslim, R. K., Mandala, M., dan Indarto, I., (2019). Prediksi Erosi di Wilayah Jawa Timur: Penerapan USLE dan GIS. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 323-332, doi:10.14710/jil.17.2.323-332

1. Latar Belakang

Erosi adalah peristiwa pengikisan padatan yang menghasilkan sedimen (Julien, 2010). Proses alami ini menyebabkan rusaknya partikel tanah sehingga menyebabkan terjadinya pembuangan bahan organik dan mineral secara tidak teratur (Gilley, 2005). Erosi yang terjadi secara terus menerus dapat berdampak pada lingkungan dan masyarakat. Perhitungan erosi diperlukan untuk menentukan tingkat bahaya erosi (TBE) dan menentukan nilai resiko erosi pada skala

wilayah lokal, nasional maupun global (Terranova *et al.*, 2009), (Silva *et al.*, 2011).

Analisis tentang tingkat bahaya erosi penting dilakukan untuk mengetahui status erosi yang terjadi, apakah berada pada level rentan atau tidak rentan. Secara prinsip, pemodelan erosi adalah penggambaran secara matematik tentang proses penghancuran, perpindahan, dan deposisi partikel tanah di atas permukaan lahan. Pemodelan erosi tanah dapat digunakan sebagai alat untuk memprediksi kehilangan agregat tanah (Nearing, 1994).

Ada banyak metode yang telah dikembangkan untuk menghitung atau memodelkan erosi. Pemodelan secara empiris didasarkan pada observasi dan biasanya bersifat statistik. Salah satu model prediksi erosi yang paling awal dan masih banyak digunakan di berbagai negara adalah model USLE (*Universal Soil Loss Equation*) (Wischmeier dan Smith, 1978). USLE memprediksi rata-rata erosi tanah dalam jangka waktu yang lama pada suatu luasan lahan dengan sistem pertanian dan pengelolaan tertentu.

Pendugaan laju erosi dengan metode USLE umumnya dikombinasikan dengan teknologi GIS (*Geographic Information System*). Integrasi USLE dan GIS merupakan perpaduan yang sangat baik dan efisien untuk menghitung kehilangan agregat tanah (Devatha *et al.*, 2015). GIS memungkinkan kita untuk menentukan distribusi parameter secara spasial. Setiap faktor pada USLE dihitung dengan menggunakan fasilitas yang ada pada perangkat lunak GIS (Dabral *et al.*, 2008). Data yang dibutuhkan untuk USLE umumnya adalah peta topografi, peta penggunaan lahan, peta tanah dan peta hujan. Peta hujan diperoleh dari interpolasi data hujan dari stasiun meteorologi. Data topografi dapat diperoleh dari DEM (*Digital Elevation Model*). Peta tanah digital dikonversi dari peta tanah yang ada. Peta peruntukan atau penggunaan lahan dapat diperoleh dari interpretasi citra satelit (Yue-Qing *et al.*, 2008). Menurut Prayitno *et al.*, (2015) metode USLE yang dikombinasikan dengan GIS sangat efisien untuk menghitung tingkat bahaya erosi pada wilayah yang luas. Akurasi metode USLE sangat tergantung pada indeks panjang dan kemiringan lereng (LS), erosivitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), jenis vegetatif (tanaman penutup tanah) dan teknik konservasi (CP).

Tinjauan teoritis dan tinjauan pustaka tentang penerapan USLE dan prediksi Erosi juga telah banyak dilakukan oleh para peneliti. Misalnya, Smith (1999) membandingkan model USLE, SLEMSA (*Soil Loss Estimation Model for Southern Africa*), RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) dan WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) di Wilayah Afrika selatan. Selanjutnya, Godone dan Stanchi (2011) telah merangkum hasil-hasil penelitian tentang teori dan penerapan berbagai model prediksi erosi pada berbagai kasus (*soil protection, land management, engineering, soil conservation, fire degradation*) dengan variabel lingkungan yang berbeda (*arid and semi arid ecosystem*) dan studi dari wilayah yang berbeda (Yunani, Spanyol, Portugal, Brazil dan Meksiko).

USLE sudah lama digunakan dan terus digunakan pada berbagai kasus. Di beberapa negara, integrasi USLE dan GIS telah digunakan untuk perencanaan dan perumusan konservasi tanah untuk pertanian, misalnya di Amerika bagian barat (Renard *et al.*, 1991), di Denmark (Olsen *et al.*, 1998), di Jepang (Mihara *et al.*, 2005), di Turki (Baskan *et al.*, 2009), di India (Bera, 2017), di Afrika Selatan (Smith, 1999) dan di Malaysia (Baban *et al.*, 2001).

Umumnya, USLE digunakan untuk menghitung erosi pada level DAS. Misalnya aplikasi USLE pada DAS Kulhan di India (Devatha *et al.*, 2015). USLE juga digunakan untuk perhitungan erosi pada DAS Oued El Makhazine di Maroko (Belasri dan Lakhouili, 2016) dan di DAS Geleda di Etiopia (Gashaw *et al.*, 2017). Pada kasus yang lain, USLE juga dapat digunakan untuk memprediksi laju erosi pada wilayah yang lebih luas, yaitu pada skala nasional atau regional. Misalnya, Rao *et al.*, (2015) menggunakan USLE sebagai tool untuk menghitung laju erosi (*Soil erosion rate/SER*) secara nasional dan menggambarkan sebarannya secara spasial. Penelitian (Rao *et al.*, 2015) menghasilkan laju erosi rerata di wilayah Cina sebesar 9,39 ton/ha/tahun. Prediksi erosi pada skala nasional juga dilakukan di Hungaria (Pásztor *et al.*, 2016) dan di Republik Ceko (Novotný *et al.*, 2016).

Di Indonesia, USLE juga telah banyak diterapkan. Misalnya As-syakur (2008) telah melakukan prediksi erosi dengan menggunakan metode USLE dan GIS berbasis piksel di daerah tangkapan air danau Buyan. Prayitno (2015) telah melakukan analisis tingkat bahaya erosi dengan menggunakan metode USLE dan GIS di wilayah DAS Talawaan di Kabupaten Minahasa Utara. Saiya dan Murti (2017) menerapkan USLE untuk perhitungan erosi pada DAS Wae Heru dan DAS Wae Tonahitu di Ambon. Penelitian sebelumnya terkait aplikasi USLE dan GIS di wilayah Jawa Timur juga telah banyak dilakukan. Kartika (2012) menggunakan USLE untuk memetakan dan membandingkan tingkat bahaya erosi pada dua Sub-DAS identik (Kloposawit dan Rawatamtu). Ashidiqi (2016) menggunakan USLE untuk pemetaan tingkat bahaya erosi di wilayah kerja UPT PSDA (Unit Pelaksana Teknis - Pengelolaan Sumberdaya Air) di Malang. Wilayah UPT mencakup kabupaten Malang, Blitar, Kota Batu dan Tulungagung. Ariestansi (2016) menggunakan USLE dan GIS untuk memprediksi laju erosi dan mengklasifikasi-kan tingkat bahaya erosi (TBE) di wilayah Bondowoso, Situbondo dan Banyuwangi. Hariyadi (2016) melakukan analisis yang sama di wilayah Jember dan Lumajang. Aryanata (2016) melakukan analisis erosi di wilayah Kediri, Jombang, Nganjuk. Filahmi (2016) melakukan analisis yang sama di wilayah Madiun, Ponorogo, dan Trenggalek. Semua penelitian tersebut memprediksi TBE menggunakan USLE dan GIS.

Rumus umum USLE relatif sama, namun detail data masukan, rumus perhitungan untuk masing-masing komponen (R, K, LS, dan CP) cukup bervariasi. Variasi juga dapat berupa input DEM yang digunakan, range nilai TBE, lokasi dan Luasan wilayah di mana USLE diterapkan. Tabel 1 merangkum beberapa kasus penerapan USLE untuk menghitung faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) di berbagai negara.

Rumus LS yang digunakan untuk menghitung faktor LS (pada Tabel 1) juga bervariasi, sebagaimana tercantum pada Tabel 2.

Tabel 1. Variasi input DEM, range nilai TBE, lokasi dan Luasan wilayah di mana USLE diterapkan

No	Range of LS factor	DEM	Daerah Penelitian	Negara	Luas (Ha)	TBE (ton/ha/tahun)			Literatur
						min	mean	max	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0 - 28,19	30 x 30	Gelaga Watershed	Ethiopia	25609	0	-	237	Gashaw T, Tulu T, & Agraw M (2017)
2	0 - 22	30 x 30	Oved El Makhazine Watershed	Morocco	241400	0	-	735	Belasri A & Lakhouili A (2016)
3	0 - 170	30 x 30	Nisaca River Basin	Serbia	284800	0	13,1	> 80,1	Zivotic L., Perovic V, Jaramaz D, Dordevic A, Petrovic R, dan Todorovic M (2012)
4	0,114 - 68,21	90 x 90	Kulhan Watershed	India	95300	0	0,1783	556	Devatha PC, Desspande V & Renukrapasad MS (2015)
5	0 - 20	30 x 30	Upper South Koel Basin	India	94249	0	12,2	> 80	Parveen R & Kumar U (2012)
6	0 - 54,23	30 x 30	Kasilian Watershed	Iran	34286	0	104,52	4092	Zare M, Pnagopoulos T, & Loures L (2017)
7	0 - 10,23	30 x 30	Ikour Watershed	Morocco	5500	0	0,68	> 15	Jazouli AE, Barakat A, Ghafri A, Moutaki SE, Ettaqy A, dan Khellouk R (2017)
8	0 - 360	Kontur interval 20 m	Wadi Kerak catchment	Jordan	19100	0	64	790	Farhan Y & Nawaiseh S (2015)
9	0 - 1708	Kontur interval 10 m	Penang Island	Malaysia	28500	-	75,71	-	Pradhan B, Chaudari A, Adinarayana J, Manfred F, Buchroithner (2011)
10	0 - 55	-	Himalayan watershed	Malaysia	11300	0	26	61,315	Sheikh AH, Palria S & Alam A (2011)

Tabel 2. Variasi Rumus LS Menurut Input DEM

No	Rumus utama	Literatur
01	$LS = (FA * cell\ size / 22.1)^m * (0.065 + 0.045 S + 0.0065 s^2)$ FA = flow accumulation	Gashaw T, Tulu T, & Agraw M (2017)
02	$LS = \frac{(Flow\ accumulation \times Cellsize)^{0.4}}{22.13} \times \frac{(sinslope)^{1.2}}{0.0896}$	Belasri A & Lakhouili A (2016)
03	$LS = \left(\frac{A}{22.13}\right)^{0.4} (\sin B / 0.0896)^{1.2}$	Zivotic L., Perovic V, Jaramaz D, Dordevic A, Petrovic R, dan Todorovic M (2012)
04	Tidak tercantum	Devatha PC, Desspande V & Renukrapasad MS (2015)
05	$LS = \left(\frac{Flow\ accumulation \times grid\ size}{22.1}\right)^{0.4} \times \left(\frac{\sin(slope) \times 0.01745}{0.09}\right)^{1.4}$	Parveen R & Kumar U (2012)
06	Tidak tercantum	Zare M, Pnagopoulos T, & Loures L (2017)
07	$LS = (Flow\ accumulation \times \frac{cell\ size}{22.13})^{0.4} \times \sin\left(\frac{slope}{0.896}\right)^{1.2}$	Jazouli AE, Barakat A, Ghafri A, Moutaki SE, Ettaqy A, dan Khellouk R (2017)
08	$LS = Pow\left(\left[flowacc \times \frac{resolution}{22.1}, 0.6\right] \times Pow\left(\frac{[\sin[slope\ gradient] \times 0.01745]}{0.09}, 1.3\right)\right)$	Farhan Y & Nawaiseh S (2015)
09	$L = \left(\frac{x}{22.13}\right)^m, s = 10.8 \sin \theta + 0.03, slopes\ steepness < 9\%$ $s = 16.8 \sin \theta + 0.03, slopes\ steepness > 9\%$	Pradhan B, Chaudari A, Adinarayana J, Manfred F, Buchroithner (2011)
10	Tidak tertulis di artikel	Sheikh AH, Palria S & Alam A (2011)

Tabel 3. Kriteria kelas untuk klasifikasi besarnya TBE

Ethiopia		Serbia		India		Indonesia		Kongo	
TBE	A	TBE	A	TBE	A	TBE	A	TBE	A
Slight	0-11	Slight	< 5	Slight	< 5	Very low	0- 15	Very low	<1
Moderate	11-18	Moderate	5-10	Moderate	5-10	Low	15-60	Low	1.1-3
Hard	18-30	Hard	10-20	Hard	10-20	Moderate	60-180	Low to medium	3.1-5
Very hard	30-50	Very hard	20-40	Very hard	20-40	Severe	180-480	Medium to high	5.1-10
Severe	50-327	Severe	40-80	Severe	40-80	Very severe	>480	High	10.1-15
		Very severe	> 80	Very severe	> 80			Very high	>15

Sumber:

- Ethiopia (Gashaw *et al.*, 2017);
- Serbia (Životić *et al.*, 2012);
- India (Parveen dan Kumar, 1869);
- Indonesia (Saiya, Dibyosaputro and Santosa, 2016);
- Kongo (Kabantu *et al.*, 2018)

Kriteria kelas untuk menyatakan klasifikasi besarnya laju erosi yang dihasilkan dari perhitungan USLE juga bervariasi dari satu negara ke negara lain (Tabel 3).

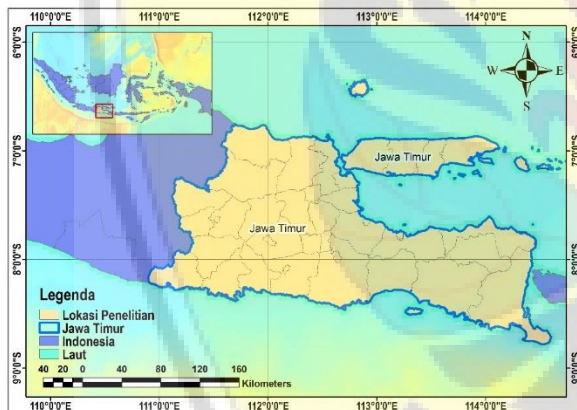
Studi literatur menunjukkan bahwa USLE dapat digunakan untuk menghitung estimasi laju erosi pada luasan yang sebatas DAS, seluas wilayah kabupaten atau pada skala regional, nasional maupun kontinental. USLE telah diterapkan di berbagai belahan bumi dengan berbagai penyesuaian lokal, namun dengan rumus yang relatif sama. Variasi input data dan detail rumus perhitungan komponen USLE, ditentukan oleh para peneliti dengan mempertimbangkan berbagai hal yang sifatnya lokal.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengklasifikasikan tingkat bahaya erosi (TBE) menggunakan metode USLE dan GIS pada skala yang lebih luas, yaitu pada seluruh wilayah Jawa Timur. Input data yang digunakan didapat dari berbagai sumber primer dan sekunder.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Lokasi penelitian

Lokasi Penelitian ini mencakup seluruh wilayah Provinsi Jawa Timur (Gambar 1). Secara administrasi Provinsi Jawa Timur mencakup wilayah 77 Kabupaten dan Kota dengan luas 47.042,17 km².



Gambar 1. Peta wilayah penelitian di Jawa Timur

Pengolahan data dilakukan di Laboraturium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (Lab. TPKL) Jurusan Teknik Pertanian Universitas Jember.

2.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah (1) data hujan yang diperoleh dari 749 stasiun hujan, dengan panjang periode rekaman dari tahun 2005 sampai 2014, (2) peta jenis tanah, (3) peta tata guna lahan, dan (4) data ASTER G-DEM2. Peralatan yang digunakan untuk analisis mencakup (1) PC, (2) perangkat lunak Excel dan (3) perangkat lunak GIS. Semua data yang digunakan ada pada database di Lab. TPKL.

2.3 Tahapan Penelitian

1. Pengolahan data

Data hujan yang digunakan adalah hujan tahunan. Hujan tahunan diperoleh dari kumulatif hujan harian dalam rentang waktu satu tahun. Periode rekaman hujan yang tersedia dan digunakan dari tahun 2005 sampai dengan tahun 2014. Data hujan digunakan untuk menghitung nilai faktor erosivitas hujan (R). Perhitungan faktor R menggunakan persamaan dari Bols (Teh *et al.*, 2011):

$$R = \frac{2,5 P^2}{100(0,073P + 0,73)} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

R = indeks erosivitas rata-rata per tahun (MJ.mm/tahun)

P = curah hujan rata-rata tahunan (mm/tahun).

Setelah nilai R untuk setiap stasiun hujan dihitung. Selanjutnya, dilakukan interpolasi terhadap data tersebut untuk membuat peta indeks erosivitas hujan (R). Interpolasi menggunakan metode IDW (Inverse Distance Weigthing). Prosedur interpolasi IDW mengikuti metode yang sudah dipublikasikan di dalam Indarto (2013ab).

Peta jenis tanah diinterpretasi untuk menentukan nilai faktor K (Indek Erodibilitas Tanah). Tabel 4 digunakan untuk menentukan nilai faktor K untuk tiap jenis tanah. Kemudian nilai K dimasukkan sebagai atribut tabel pada layer faktor K. Selanjutnya, peta atau layer faktor K dikonversi menjadi raster menggunakan perangkat lunak GIS.

Data DEM didapatkan dari data ASTER GDEM2. Data DEM digunakan untuk menghitung nilai faktor LS. Data DEM diturunkan menjadi kemiringan lereng (slope), arah aliran (flow direction), dan akumulasi aliran (flow accumulation). Selanjutnya faktor LS dihitung dengan menggunakan raster calculator mengikuti persamaan 2 (Belasri dan Lakhouili, 2016):

$$LS = \frac{(FA \times Cellsize)^{0,4}}{22,13} \times \frac{(\sin slope)^{1,3}}{0,0896} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

LS = faktor panjang dan kemiringan lereng

FA = akumulasi aliran

Cellsize = ukuran piksel

Slope = kemiringan lereng (°)

Peta RBI digital digunakan untuk menentukan nilai penggunaan lahan sebagai satu unit poligon. Selanjutnya, nilai CP ditentukan berdasarkan kriteria pada Tabel 5. Kemudian nilai CP dimasukkan sebagai atribut tabel dan dikonversi menjadi raster.

Tabel 4 Nilai faktor K Berdasarkan Jenis Tanah

No	Tipe Tanah	Nilai faktor K
1	Tanah eutropik organik	0,301
2	Tanah hidromorphic alluvial	0,156
3	Tanah abu-abu alluvial	0,259
4	Tanah alluvial coklat keabu-abuan	0,315
5	Alluvial abu-abu dan alluvial coklat keabu-abuan	0,193
6	Kompleks tanah alluvial abu-abu dan tanah humic abu-abu	0,205
7	Kompleks tanah alluvial abu-abu dan tanah humic rendah abu-abu	0,202
8	Komplek tanah hydromorfic abu-abu dan planosol coklat keabu-abuan	0,301
9	Planosol coklat keabu-abuan	0,251
10	Komplek tanah litosol dan tanah mediteran merah	0,215
11	Regosol abu-abu	0,304
12	Komplek regosol abu-abu dan litosol	0,172
13	Regosol coklat	0,346
14	Regosol coklat kekuning-kuningan	0,331
15	Regosol abu-abu kekuning-kuningan	0,301
16	Komplek regosol dan litosol	0,302
17	Andosol coklat	0,278
18	Andosol coklat kekuning-kuningan	0,223
19	Komplek andosol coklat dan regosol coklat	0,271
20	Komplek rensinas, litosol dan tanah hutan coklat	0,157
21	Grumosol abu-abu	0,176
22	Grumosol abu-abu hitam	0,187
23	Komplek grumosol, regosol dan tanah mediteran	0,201
24	Komplek tanah mediteran coklat dan litosol	0,323
25	Komplek tanah mediteran dan grumosol	0,275
26	Komplek tanah mediteran coklat kemerahan dan litosol	0,188
27	Latosol coklat	0,175
28	Latosol coklat kemerahan	0,121
29	Latosol coklat hitam kemerahan	0,058
30	Latosol coklat kekuningan	0,082
31	Latosol merah	0,075
32	Latosol merah kekuningan	0,054
33	Kompleks latosol coklat dan regosol abu-abu	0,186
34	Kompleks latosol coklat dan kekuningan	0,091
35	Kompleks latosol coklat kemerahan dan latosol coklat	0,067
36	Kompleks latosol merah, latosol coklat kemerehan dan litosol	0,062
37	Kompleks latosol merah dan latosol coklat kemerahan	0,061
38	Kompleks latosol merah kekuningan, latosol coklat kemerahan dan latosol	0,064
39	Komplek latosol coklat kemerahan dan litosol	0,075
40	Kompleks latosol merah kekuningan, latosol coklat podsolik merah kekuningan dan litosol	0,116
41	Tanah podsolik kuning	0,167
42	Tanah podsolik merah kekuningan	0,166
43	Tanah podsolik merah	0,158
44	Komplek podsilik kuning dan tanah hydromorphic abu-abu	0,249
45	Komplek tanah podsolik kuning dan regosol	0,158
46	Komplek tanah podsolik kuning, podsolik merah kekuningan dan regosol	0,175
47	Komplek lateritik merah kekuningan dan tanah podsolik merah kekuningan	0,175

Sumber: Ismaniar, (2012), Hendrawan, (2004).

Tabel 5. Nilai faktor pengelolaan tanaman dan tindakan konservasi (CP) menurut jenis peruntukan-nya.

No.	Konservasi dan Pengelolaan Tanaman	NilaiCP
1.	Hutan tak terganggu	0,01
2.	Hutan	0,001
3.	Hutan mangrove	0,001
4.	Hutan lahan kering primer	0,03
5.	Hutan lahan kering sekunder	0,005
6.	Semak belukar	0,05
7.	Sawah	0,02
8.	Pertanian lahan kering	0,5
9.	Pertanian lahan kering bercampur semak	0,43
10.	Lahan terbuka	0,02
11.	Perkebunan	0,3
12.	Permukiman/Tempat Tinggal	1
13.	Pertambangan	1
14.	Tambak	0,001
15.	Alang-alang	0,02
16.	Ladang	0,28
17.	Danau/Empang/Beting	0,001
18.	Rawa	0,01
19.	Sungai	0,001

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

2. Perhitungan laju erosi

Menurut Wischmeier dan Smith (1978), USLE menghitung laju erosi (A) menggunakan persamaan 3:

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

Keterangan:

- A = Jumlah tanah yang hilang rata-rata setiap tahun (t/ha/th atau t/acre/th)
- R = faktor erosivitas curah hujan
- K = faktor erodibilitas tanah
- LS = faktor panjang dan kemiringan lereng
- CP = faktor pengelolaan tanaman (vegetasi)/ penutupan lahan.

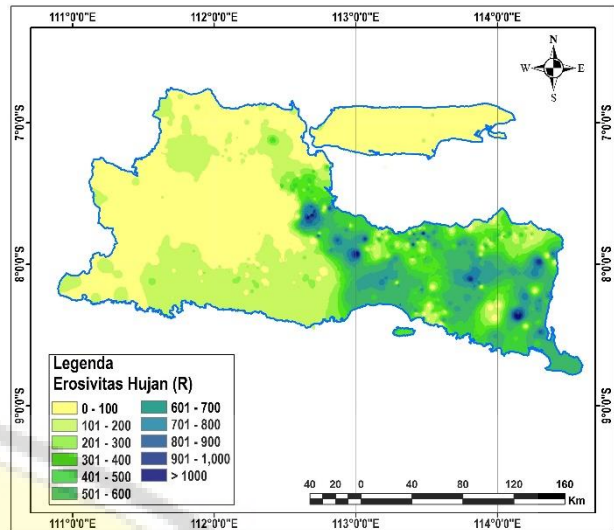
Persamaan 3 dihitung menggunakan *Raster Calculator*. Proses perhitungan dilakukan setelah semua faktor USLE (R, K, LS, CP) sudah dalam format raster.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisis Faktor Erosi

1. Faktor erosititas hujan (R)

Erosivitas memiliki peran penting dalam menyebabkan terjadinya erosi. Sifat fisik hujan seperti tebal hujan, durasi hujan dan kecepatan jatuhnya hujan dapat mempengaruhi erosi. Gambar 2, menampilkan sebaran spasial (variabilitas spasial) nilai erosititas hujan (R) hasil interpolasi IDW untuk semua wilayah Jawa Timur. Nilai erosititas hujan tertinggi = 1391,97 MJ.mm/tahun. Semakin tinggi nilai erosititas hujan, maka kemampuan air hujan untuk menghancurkan agregat tanah semakin kuat. Hujan yang jatuh akan mengisi ruang pori makro akibatnya laju infiltrasi akan terhambat, dan limpasan permukaan akan meningkat (Widianto *et al.*, 2014).



Gambar 2. Faktor Erosivitas hujan (R) dengan Interpolasi IDW .

Tabel 6 Nilai Faktor K berdasarkan klasifikasi jenis tanah

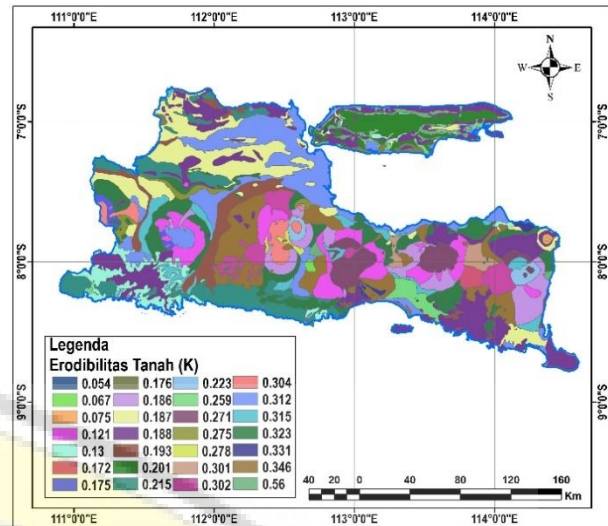
No	Jenis Tanah	Luas (km ²)	Luas (%)	Erodibilitas	Tingkat Erodibilitas
1	Latosol Merah Kekuningan	37,9	0,1	0,054	Sangat Rendah
2	Latosol Coklat Kemerahan dan Latosol Coklat	60,3	0,1	0,067	Sangat Rendah
3	Latosol Merah	41,6	0,1	0,075	Sangat Rendah
4	Latosol Coklat Kemerahan	2671,1	5,4	0,121	Rendah
7	Litosol	1721,8	3,5	0,13	Rendah
9	Kompleks Regosol dan Litosol	265,1	0,5	0,172	Agak rendah
10	Latosol Coklat	203,6	0,4	0,175	Agak rendah
11	Grumusol Coklat Kekelabuan dan Kelabu Kekuningan	49,7	0,1	0,176	Agak rendah
12	Kompleks Grumusol Kelabu dan Litosol	200,2	0,4	0,176	Agak rendah
13	Latosol Coklat dan Regosol Kelabu	2134,2	4,3	0,186	Agak rendah
14	Kompleks Grumusol Hitam dan Litosol	13,5	0,0	0,187	Agak rendah
15	Grumusol Hitam	189,0	0,4	0,187	Agak rendah
17	Grumusol Kelabu Tua	4419,9	9,0	0,187	Agak rendah
18	Asosiasi Litosol dan Mediteran Coklat Kemerahan	20,6	0,0	0,188	Agak rendah
19	Asosiasi Mediteran Coklat Litosol	75,7	0,2	0,188	Agak rendah
20	Mediteran Coklat Kemerahan	76,1	0,2	0,188	Agak rendah
21	Kompleks Mediteran Coklat Kemerahan dan Litosol	4526,3	9,2	0,188	Agak rendah
22	Kompleks Mediteran Merah dan Litosol	1938,7	3,9	0,188	Agak rendah
24	Aluvial Coklat Tua Kekelabuan	14,1	0,0	0,193	Agak rendah
25	Asosiasi Aluvial Kelabu dan Coklat Kekelabuan Asos	1899,8	3,9	0,193	Agak rendah
26	Asosiasi Mediteran Coklat dan Regosol	21,7	0,0	0,201	Sedang
27	Mediteran Merah Tua dan Regosol	311,0	0,6	0,201	Sedang
28	Kompleks Mediteran, Grumusol, Regosol dan Litosol	1467,4	3,0	0,201	Sedang
29	Asosiasi Mediteran Coklat dan Regosol	0,6	0,0	0,201	Sedang
30	Kompleks Litosol, Mediteran dan Renzina	3408,6	6,9	0,215	Sedang
31	Kompleks Andosol Coklat/ Coklat Kekuningan, Litoso	166,1	0,3	0,223	Sedang
32	Andosol Coklat Kekuningan	247,5	0,5	0,223	Sedang
34	Aluvial Kelabu	37,9	0,1	0,259	Agak Tinggi
35	Aluvial Kelabu Kekuningan	52,2	0,1	0,259	Agak Tinggi
36	Asosiasi Glei Humus Rendah dan aluvial Kelabu	552,4	1,1	0,259	Agak Tinggi
37	Asosiasi Andosol dan Regosol Coklat Kekuningan	1642,6	3,3	0,271	Agak Tinggi
38	Mediteran Coklat Kemerahan dan Grumusol Kelabu	424,5	0,9	0,275	Agak Tinggi
40	Andosol Coklat	8,2	0,0	0,278	Agak Tinggi
41	Asosiasi Andosol Coklat dan Glei Humus	121,0	0,2	0,278	Agak Tinggi
43	Regosol Coklat Kekelabuan	476,2	1,0	0,301	Tinggi
45	Kompleks Regosol dan Litosol	1399,7	2,8	0,302	Tinggi
48	Regosol Kelabu	353,9	0,7	0,304	Tinggi
49	Asosiasi Andosol Kelabu dan Regosol Kelabu	526,7	1,1	0,304	Tinggi
51	Aluvial Hidromorf	5488,2	11,2	0,312	Tinggi
52	Aluvial Coklat Kekelabuan	2740,0	5,6	0,315	Tinggi
54	Asosiasi Litosol dan Mediteran Coklat Kemerahan	24,6	0,1	0,323	Tinggi
55	Asosiasi Mediteran Coklat Litosol	90,6	0,2	0,323	Tinggi
56	Kompleks Mediteran Coklat dan Litosol	1352,7	2,7	0,323	Tinggi
58	Mediteran Coklat	3308,4	6,7	0,323	Tinggi
59	Asosiasi Non Calcic Brown dan Regosol	91,1	0,2	0,331	Tinggi
60	Regosol Coklat Kekuningan	145,2	0,3	0,331	Tinggi
61	Regosol Coklat	3616,2	7,4	0,346	Tinggi
63	Brown Forest Soil	554,8	1,1	0,56	Sangat Tinggi
	Total	49189,1	100,0		

Pada penelitian ini tidak dilakukan analisis curah hujan berdasarkan intensitas hujan dan ukuran diameter butiran hujan sehingga tidak dapat dianalisis besarnya energi hujan yang berpotensi menyebabkan erosi.

2. Faktor erodibilitas tanah (K)

Erodibilitas tanah merupakan salah satu yang mempengaruhi erosi. Erodibilitas tanah (K) menyatakan kepekaan suatu tanah terhadap erosi. Nilai erodibilitas suatu tanah ditentukan oleh ketahanan tanah terhadap daya rusak dari luar dan kemampuan tanah untuk menyerap air (Utomo, 1994). Hasil analisis jenis tanah pada lokasi penelitian disajikan pada Tabel 6.

Wilayah Jawa Timur didominasi oleh jenis tanah alluvial hidromorf. Luas alluvial hidromorf = 5488 km² atau 11,2% dari total luasan keseluruhan. Gambar 3, menampilkan peta erodibilitas tanah (K).



Gambar 3. Peta faktor erodibilitas (K)

3. Faktor panjang dan kemiringan lereng (LS)

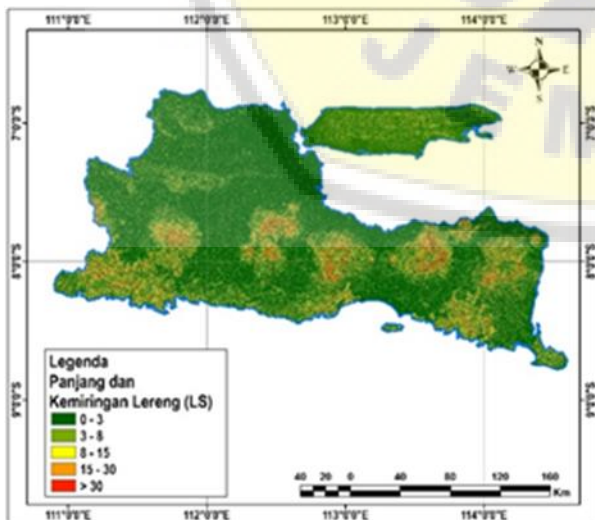
Tabel 7 Nilai faktor LS di Jawa Timur (gambar 4)

No	Klasifikasi LS	Luas (Ha)	Luas (%)	Keterangan
1	0 - 3	3268030,32	69,73	Datar
2	3 - 8	706317,03	15,07	Landai
3	8 - 15	362370,78	7,73	Agak Curam
4	15 - 30	227164,95	4,85	Curam
5	> 30	122868,09	2,62	Sangat Curam
Total		520492,95	100	

Sumber: Kartika, 2012.

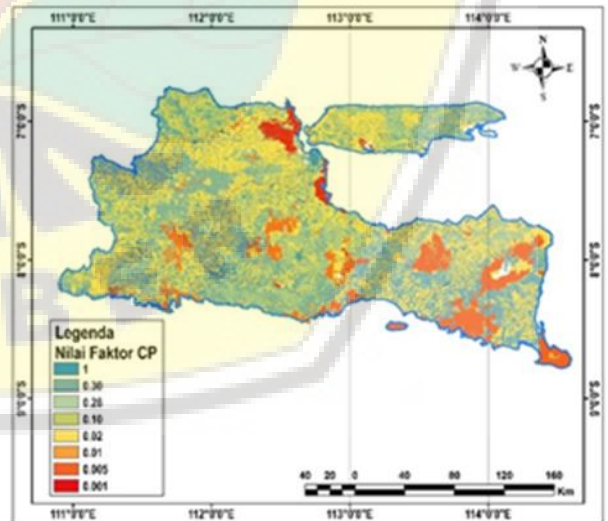
Nilai faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) yang dominan adalah nilai LS = 0-3, seluas 3.268.030,32 ha atau 69,73% dari total Luas Jawa Timur. Kemiringan lereng yang lebih curam, akan menyebabkan erosi lebih besar. Selain kemiringan, panjang lereng juga mempengaruhi besarnya erosi. Semakin panjang suatu lereng akan semakin banyak volume tanah yang terbawa oleh aliran permukaan (Arsyad, 1989).

semakin tinggi pada piksel di tempat terjadinya akumulasi aliran. Nilai faktor LS disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Kemiringan dan Panjang Lereng (Ls).

Nilai faktor LS yang tinggi terjadi pada lokasi akumulasi aliran. Sehingga jumlah erosi tanah akan



Gambar 5. Peta faktor CP pada tahun 2014 di Jawa Timur

4. Faktor pengelolaan tanaman dan tindakan konservasi (CP)

Vegetasi tanaman dan tindakan konservasi tanah (CP) merupakan faktor penting dalam menentukan besarnya erosi. Hal ini disebabkan faktor CP merupakan faktor yang dapat dikendalikan

oleh manusia. Hasil dari interpretasi penggunaan lahan di wilayah Jawa Timur disajikan pada Tabel 8.

Sebagian besar penggunaan lahan di lokasi penelitian (perumahan, pertanian lahan kering, ladang, alang-alang, dan sawah) memiliki nilai CP yang tinggi dibandingkan hutan. Penggunaan lahan dengan nilai CP yang tinggi menunjukkan bahwa vegetasi yang ada belum cukup untuk mengendalikan erosi. Selain itu nilai CP tinggi juga menunjukkan

bahwa tidak ada penerapan tindakan konservasi tanah yang dilakukan.

Vegetasi sangat penting dalam mengurangi laju erosi. Kanopi dari vegetasi sangat baik dalam mengurangi besarnya daya hancur hujan, sedangkan akar dan batang vegetasi dapat membantu mengikat tanah dan air, sehingga akan mengurangi laju erosi (Munandar et al, 2016).

Tabel 8. Faktor CP Tahun 2014 di Jawa Timur

No	Jenis Tata Guna Lahan	Luas (Ha)	Luas (km ²)	Luas (%)	CP
1	Alang-Alang	35959,05	359,59	11,79	0,02
2	Beting	184,23	1,84	0,06	0,001
3	Danau	359,46	3,59	0,12	0,001
4	Empang	8190,09	81,90	2,68	0,001
5	Hutan Lahan Kering	40192,92	401,93	13,17	0,005
6	Perkebunan	79317,90	793,18	26,00	0,3
7	Ladang	77471,73	774,72	25,39	0,28
8	Permukiman	48120,66	481,21	15,77	1
9	Rawa	493,02	4,93	0,16	0,01
10	Sawah	12614,49	126,14	4,13	0,02
11	Semak belukar	13,23	0,13	0,00	0,1
12	Sungai	1875,78	18,76	0,61	0,001
13	Tambak	0,81	0,01	0,00	0,001
14	Tempat Tinggal	313,83	3,14	0,10	1
Total		305107,20	3051,07	100,00	

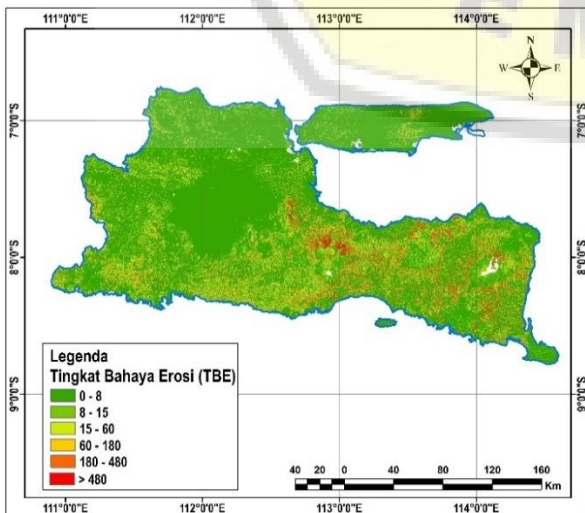
3.2. Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Hasil perhitungan nilai laju erosi di wilayah Jawa Timur disajikan pada Tabel 9. TBE di Jawa Timur didominasi dengan tipe sangat ringan 0-15 ton/ha/tahun dengan total luas keseluruhan sebesar 78,71%. Selanjutnya, pada (TBE) tipe ringan 15-60 ton/ha/tahun dengan total luas keseluruhan 10,75%.

TBE tipe sedang antara 60-180 ton/ha/tahun dengan total luas keseluruhan 6,39%. TBE tipe berat berkisar antara 180-480 ton/ha/tahun dengan total luas keseluruhan 2,83%, dan tingkat bahaya erosi pada tipe sangat berat >480 ton/ha/tahun dengan total luas keseluruhan 1,31%.

Tabel 9. Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi (TBE) di Jawa Timur

No	Tingkat Bahaya Erosi (Ton/Ha/Th)	Luas (ha)	Luas (%)	Erosi (Ton/ha/th)	Kondisi
1	0 - 8	3395308,32	73,73	0,8	Sangat Ringan
2	8 - 15	229255,83	4,98	11,11	Sangat Ringan
3	15 - 60	495147,96	10,75	32,33	Ringan
4	60 - 180	294209,37	6,39	103,76	Sedang
5	180 - 480	130339,35	2,83	285,07	Berat
6	> 480	60541,11	1,31	1382,00	Sangat Berat
Rata-rata laju erosi (ton/ha/tahun)		4604801,9	100,00	10,30	



Perhitungan laju erosi bermanfaat sebagai alat bantu untuk mengambil keputusan dalam perencanaan konservasi lahan. Apabila laju erosi sudah dapat ditetapkan, maka dapat ditentukan kebijakan penggunaan lahan dan tindakan konservasi yang diperlukan agar tidak terjadi kerusakan yang lebih besar. Sehingga lahan dapat digunakan secara produktif dan berkelanjutan. Selain meningkatkan TBE, intensitas hujan yang tinggi akan meningkatkan resiko terjadinya bencana alam seperti erosi dan tanah longsor.

Kesimpulan

Analisis erosi dan tingkat bahaya erosi telah dilakukan untuk seluruh wilayah Jawa Timur. Faktor erosi yang terdiri dari faktor erosivitas curah hujan (R), faktor erodibilitas tanah (K), faktor pengelolaan

tanaman dan tindakan konservasi (CP), serta faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) digunakan sebagai input utama. Selanjutnya laju erosi dihitung dengan menggunakan tool raster calculator.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata laju erosi di Jawa Timur sebesar 10,30 ton/ha/tahun, sedangkan klasifikasi tingkat bahaya erosi (TBE) di Jawa Timur didominasi oleh tipe erosi sangat ringan, yang nilainya antara 0 sd 15 ton/ha/tahun. Erosi jenis ini mencakup 78,71% dari luas total wilayah. Sementara, tingkat bahaya erosi (TBE) tipe: ringan 15-60 ton/ha/tahun dan mencakup 10,75% luas Jawa Timur. Selanjutnya, TBE tipe sedang antara 60-180 ton/ha/tahun mencakup 6,39% luas total. Hanya sekitar 2,83% dari total luas yang berada pada TBE tipe berat (180-480 ton/ha/tahun) dan 1,31% luas wilayah tergolong pada resiko erosi tipe sangat berat (>480 ton/ha/tahun).

Ucapan Terima Kasih

Data yang dalam penelitian ini berasal dari koleksi data yang ada di lab. Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL), FTP Unej. Data berasal dari berbagai sumber dan dikoleksi melalui berbagai skema penelitian kerjasama, magang, dan skripsi mahasiswa. Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam terlaksananya penelitian ini, antara lain: PS Magister Pengelolaan Sumber Daya Air Pertanian (PSDAP), Fakultas Pascasarjana-Universitas Jember, Dinas PU Pengairan Provinsi, BIG, Balai Penelitian Hidrologi dan Sumberdaya air, LP2M UNEJ, DRPM-Dikti, dan para mahasiswa TEP yang telah membantu dalam analisis data (Astarina Ayu Ambarwati, Novitasari, Tanjung, Fauqi, Hariadi, Holilul rohman). Publikasi penelitian didanai dari Hibah Penelitian Pasca Sarjana (PPS-PTM)- DRPM - kementerian Ristek Dikti) tahun 2019 a.n Indarto.

DAFTAR PUSTAKA

Arsyad, S. 1989. Konservasi Tanah dan Air. Bogor: IPB Press.

Aryanata, R. A. 2016. Prediksi Tingkat Bahaya Erosi Menggunakan Pemodelan Universal Soil Loss equation (USLE) dan ArcGIS di Wilayah Administratif UPT PSDA Kediri. Skripsi. Jember: Universitas Jember.

Asdak, C. 2002. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Ashidiqi, R. 2016. Pemetaan Tingkat Bahaya Erosi Menggunakan Universal soil Loss Equation (USLE) dan ArcGIS di Wilayah Administratif UPT PSDA Malang-Jawa Timur. Skripsi. Jember: Universitas Jember.

Ariestanti, T. A. D. 2016. Prediksi Tingkat Bahaya Erosi di Wilayah UPT PSDA Bondowoso Menggunakan USLE (Universal Soil Loss Equation) Integrasi ArcGIS. Skripsi. Jember: Universitas Jember.

As-Syakur, A. 2008. Prediksi Erosi dengan Menggunakan Metode USLE dan Sistem Informasi Geografis

(SIG) Berbasis Pikel di Daerah Tangkapan Air Danau Buyan. PIT Mapin XVII. Bandung.

Auliyani, D., dan W.W. Wijaya. 2017. Perbandingan Prediksi Hasil Sedimen Menggunakan Pendekatan Model Universal Soil Loss Equation dengan Pengukuran Langsung. Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. 1(1): 61-71.

Baban, S.M.J dan K.W. Yusof. 2009. Modelling soil erosion in tropical environments using remote sensing and geographical information systems. Hydrological Sciences Journal. 46(2): 191-198.

Baskan, O., H. Cebel, dan S. Akgul. 2010. Conditional Simulation of USLE/RUSLE Soil Erodibility Factor by Geostatistics in a Mediterranean Catchment Turkey. Environmental Earth Sciences. 60(6): 1179-1187.

Belasri, A., dan 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. 8: 98-107.

Bera, I. 2017. Assessment of Soil Loss by Universal Soil Loss Equation (USLE) Model Using GIS Techniques: a Case Study of Gumti River Basin, Tripura, India. Modeling Earth Systems and Environment. 2017. 3:29(1-9).

Dabral, P. P.; Baithuri, N.; Pandey, A. (2008). Soil Erosion Assessment in a Hilly Catchment of North Eastern India Using USLE, GIS and Remote Sensing. Water Resources Management, 22:1783-1798.

Devatha, C.P., V. Deshpande, dan M.S. Renukprasad. 2015. Estimation of Soil Loss Using USLE Model for Kulhan Watershed Chatitigarh. Aquatic Procedia. 4:1429-1436.

Edriani, A. F, Amri, K., dan Barchia, M. F. 2014. Analisis Tingkat Erosi dan Kekritisitan Lahan Menggunakan Sistem Informasi Geografis di Sub DAS Bengkulu Hilir DAS Air Bengkulu. Tesis. Bengkulu: Universitas Bengkulu.

Fahliza, U., Anugerah, P., dan Dwi, D. 2013. Analisis Erosi pada SubDAS Lematang Hulu. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan. 1(1), pp 32-39.

Farhan Y dan Nawaiseh S. 2015. Spatial Assesment of Soil Erosion Risk Using RUSLE and GIS Techniques. Environmental Earth Sciences. 74:4649-4669.

Filahmi, F.B. 2016. Analisis Spasial Pemodelan Universal Soil Loss Equation (USLE) di Wilayah UPT PSDA Madiun (Studi Kasus DAS Madiun-Ngawi). Skripsi. Jember: Universitas Jember.

Gashaw, T., Tulu, T. and Argaw, M. 2017. Erosion risk assessment for prioritization of conservation measures in Geleda watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. Environmental Systems Research. 6(1):1-14.

Godone, D., dan Stanchi, S. 2011. Soil Erosin Issues in Agriculture. New York: Intech Publishers.

Gilley, J. E. 2005. Erosion water-induced. Encyclopedia of Soils in the Environment. 463-469.

Hariyadi. 2016. Perkiraan Tingkat Bahaya Erosi Menggunakan Universal Soil Loss Equation (USLE) dan GIS di Wilayah UPT PSDA Lumajang. Skripsi. Jember: Universitas Jember

Hendrawan, H. 2004. Aplikasi Sistem Informasi Geografi (SIG) untuk Pendugaan Erosi dengan Pendekatan USLE (Universal Soil Loss Equation) di Sub-DAS Cimuntur Ciamis. Skripsi. Bogor: Jurusan Teknologi Pertanian, IPB.

- Indarto, 2013a. Analisis Geostatistik. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Indarto, 2013b. Variabilitas Spasial Hujan Harian di Jawa Timur. *Jurnal Teknik Sipil*. 20(2):107-120.
- Ismaniar, R. A. 2012. Pendugaan Neraca Air menggunakan Aplikasi Tank Model dan Laju Sedimen dengan Metode MUSLE di Sub DAS Melamun Kabupaten Malang. *Digital Times*.
- Jazouli, A., Ahmed, M., dan Barakat, A. 2017. Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: a case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco). *Geoscience Letters*. 4-25
- Julien, P. Y. 2010. *Erosion and Sedimentation*. 2nd edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kabantu, M. T., Thimanga, R. M., Kileshye, J. M. O., Gumindoga, W., dan Beya, J. T. 2018. A GIS-based estimation of soil erosion parameters for soil loss potential and erosion hazard in the city of Kinshasa, the Democratic Republic of Congo. *Copernicus Publications on Behalf of the International Association of Hydrological Sciences*. 378:51-57.
- Kartika, I. 2012. Aplikasi Pemodelan USLE (Universal Soil Loss Equation) untuk Pemetaan Tingkat Bahaya Erosi di Sub-DAS Kloposawit dan Rawatantu. *Skripsi Jember: Universitas Jember*.
- Mihara, M., N. Yamamoto, dan T. Ueno. 2005. Application of USLE for the Prediction of Nutrient Losses in Soil Erosion Processes. *Paddy and Water Environment*. 3(2): 111-119.
- Munandar, R., Jayanti, D. S., dan Mustafiril. 2016. Pemodelan Intersepsi Untuk Pendugaan Aliran Permukaan. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*. 1(1):62-69.
- Nearing, M. A. 1994. Detachment of Soil by Flowing Water Under Turbulent and Laminar Conditions. *Soil Science Society of America Journal*.
- Novotny, I., Zizala, D., dan Kapicka, J. 2016. Monitoring Soil Erosion of Agriculture Land in Czech Republic and Data Assessment of Erosion Events from Spatial Database. *Proceedings from International Conference Soil*. 34-370.
- Olsen, P., dan R. Kristensen. 1998. Using a GIS System in Mapping Risks of Nitrate Leaching and Erosion on the Basis of Soil-N and USLE Simulations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 5:307-311.
- Parveen, R. and 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(6):588-596
- Pasztor, L., Negyesi, G., Laborczi, A., Kovacs, T., Laszlo, E., dan Bihari, Z. 2016. Integrated Spatial Assessment of Wind Erosion Risk in Hungary. *Hazards Earth System Science*. 16(11):2421-2432
- Pradhan, B., Jagarlapudi, A. and Buchroithner, M. 2011. Soil erosion assessment and its correlation with landslide events using remote sensing data and GIS: a case study at Penang Island, Malaysia. *Environmental Monitoring and Assessment*. 184(2):715-727
- Prayitno, J.S. Tasirin, M.Y.M.A. Sumakud, dan J.A. Rombang. 2015. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) Dalam Pengklasifikasian Bahaya Erosi Pada DAS Talawaan. *Jurnal Ilmiah Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi*. 6(11):1-8
- 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
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, dan J.P. Porter. 1991. RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation). *Journal Soil and Water Conservation*. 46(1): 30-33.
- Saiya, H. G., Dibiyosaputro, S. dan 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.
- Sheikh, A., Palria, S., Alam, A. 2011. Integration of GIS and Universal Soil Loss Equation (USLE) For Soil Loss Estimation in a Himalayan Watershed. *Geography and Geology*. 3(3):51-57
- Silva, A. M., Alcarde, C. and Hitomi, C. 2011. Natural Potential for Erosion for Brazilian Territory. *Soil Erosion Studies*. 1-24
- Smith. 1999. Application of Empirical Soil Loss Models in Southern Africa: a review. *South African Journal of Plant and Soil*. 16(3): 158-163.
- Terranova, O., Antronico, L., Coscarelli, R., Ianquita, P. 2009. Soil Erosion Risk Scenarios in the Mediterranean Environment Using RUSLE and GIS: An Application Model for Calabria (Southern Italy). *Geomorphology*. 112:228-245.
- Teh, S. H. (2011). *Soil Erosion Modeling Using RUSLE and GIS on Cameron Highlands, Malaysia For Hydropower Development*. University of Iceland dan University of Akureyri. <http://hdl.handle.net/1946/7751>.
- Utomo, W.H. 1994. *Erosi dan Konservasi Tanah*. Malang: IKIP Malang
- Widianto, A dan Damen, M. 2014. Determination of Coastal Belt in the Disaster Prone Area: A Case Study in the Coastal Area of Bantul Regency, Yogyakarta, Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*. 46(2):125-137
- Wischmeier, W.H dan D. D. Smith. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses A Guide to Conservation Planning*. Washington DC: Government Printing Office.
- Yue-Qing, X., Xiao-Mei, S., Xiang-Bin, K., Jian, P., Yun-Long, C. 2008. Adapting the RUSLE and GIS to Model Soil Erosion Risk in a Mountains Karst Watershed, Guizhou Province, China. *Environment Monitoring Assessment*. 141:275-286.
- Zare, M., Panagopoulos, T., dan Loures, L. 2017. Simulating the Impacts of Future Land Use Change on Soil Erosion in the Kasilian Watershed, Iran, *Elsevier*. 67:558-572.
- Životić, L., Perovic, V., Jaramaz, D., dan Djordevic. 2012. Application of USLE, GIS, and Remote Sensing in the Assessment of Soil Erosion Rates in Southeastern Serbia, *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(6):. 1929-1935