

**FAKTOR YANG BERPENGARUH TERHADAP TINGKAT KERAPATAN EROSI PARIT
DI DAERAH ALIRAN SUNGAI KALIWUNGU**
(*Factor influencing density level of gully erosion in Kaliwungu Watershed*)

Surya Sabda Nugraha¹ dan Junun Sartohadi²

¹Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

²Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada

Jl. Kaliurang, Sekip Utara, Bulaksumur, Sinduadi, Sleman, D.I. Yogyakarta

Email: suryasabda95@gmail.com

Diterima: 24 Januari 2018; Selesai Direvisi: 23 Juli 2018; Disetujui: 6 Agustus 2018

ABSTRACT

Distribution and density level of gullies reflect the level of land degradation on a watershed. This research aims to identify the distribution of gully and to calculate the density level of gully erosion in Kaliwungu Watershed. The distribution of gully was obtained through field survey, while the density level was analyzed based on landuse and landform maps. Gully distribution was overlaid on landuse and landform maps. Landuse was delineated by interpreting aerial photograph of Kaliwungu Watershed. Aerial imagery supported by the result of Sentinel image processing was used to observe vegetation density. Landform and slope were delineated from DEM. Catchment area of gully erosion were delineated by DEM and aerial photograph interpretation of Kaliwungu Watershed. Gully density is calculated by comparing erosion length and erosion volume to the catchment area extent. Descriptive analysis was used to determine the factors that influenced gully. The analysis was conducted based on the result of overlaying gully distribution on landuse and landform maps. The result of this research were a 1:10.000 map of gully distribution and density level of gully erosion in Kaliwungu Watershed. There were three density classes of gully in Kaliwungu Watershed which are high, medium, and low. The formation process of intensive gully only takes place at some intensively land cultivation points or at some land that has been highly disturbed by human activities. The result shows that landuse and land cultivation was the factors that influenced the formation of gully erosion.

Keywords: *density of gully erosion; land use; landform*

ABSTRAK

Sebaran erosi parit dan kerapatannya menggambarkan tingkat degradasi lahan pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui sebaran erosi parit dan tingkat kerapatannya di DAS Kaliwungu. Sebaran Erosi parit diperoleh melalui survei lapangan. Kerapatan erosi parit dianalisis berdasarkan penggunaan lahan, bentuk lahan serta karakteristik yang ada di dalamnya. Daerah tangkapan erosi parit kemudian ditumpangsusun dengan peta penggunaan lahan dan peta bentuk lahan. Peta penggunaan lahan diperoleh berdasarkan interpretasi foto udara. Foto udara juga digunakan untuk melihat tingkat

kerapatan vegetasi dan didukung dengan data hasil pengolahan citra Sentinel. Data Digital Elevation Model (DEM) digunakan sebagai dasar interpretasi bentuk lahan dan identifikasi kelas lereng. Daerah tangkapan erosi parit dibatasi berdasarkan interpretasi data DEM dan foto udara. Kerapatan erosi parit diukur menggunakan perbandingan panjang erosi parit dengan luas daerah tangkapan erosi parit dan volume erosi parit juga dengan luas daerah tangkapannya. Analisis data untuk mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap kerapatan daerah tangkapan erosi parit dilakukan secara deskriptif. Analisis dilakukan berdasarkan hasil tumpang-susun tingkat kerapatan erosi parit pada peta penggunaan lahan dan peta bentuk lahan. Hasil penelitian berupa peta sebaran erosi parit dan peta tingkat kerapatan erosi parit DAS Kaliwungu skala 1:10.000. Terdapat tiga kelas kerapatan erosi parit di DAS Kaliwungu yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Proses pembentukan erosi parit yang sangat intensif hanya terjadi pada beberapa titik dengan pengolahan lahan yang cukup intensif ataupun pada lahan yang sudah sangat terusik oleh aktivitas manusia. Hasil penelitian menunjukkan faktor yang mempengaruhi proses pembentukan erosi parit adalah penggunaan lahan dan pengolahan lahan.

Kata kunci: erosi parit; kerapatan; penggunaan lahan; bentuk lahan

I. PENDAHULUAN

Lobeck (1939) membagi geomorfologi menjadi 3 orde berdasarkan proses pembentukannya. Dasar konsep bentuk lahan menjadi dasar yang digunakan untuk membagi bentuk lahan di DAS Kaliwungu menjadi zona sisa, zona erosi, dan zona deposisi.

Paper ini difokuskan membahas bentuk lahan berupa erosi yang merupakan salah satu bentuk dari kerusakan lingkungan. Proses erosi menyebabkan terjadinya kehilangan tanah sekitar sepuluh juta hektar pada lahan pertanian (Wang, 2017). Erosi yang banyak terbentuk dapat disebabkan karena penggunaan atau pengolahan lahan yang tidak sesuai dengan kemampuannya (Amiri, Rashid, & Shariff, 2012; Günal, Korucu, Birkas, Özgöz, & Halbac-cotoara-zamfir, 2015; Tesfa & Mekuriaw, 2014). Erosi parit merupakan jenis erosi yang paling berdampak terhadap kerusakan lingkungan. Dampak nyata dapat dilihat dari adanya kehilangan tanah dan banyaknya sedimentasi pada bagian hilir (Samani, Ahmadi, Jafari, Boggs,

Ghoddousi, & Malekian, 2009; Yan, Fang, Zhang, & Shi, 2013). Poesen, Nachtergaele, Verstraeten & Valentin (2003) mengungkapkan bahwa 10 hingga 90 persen kehilangan tanah disebabkan karena erosi parit. Erosi parit termasuk dalam *sub surface erosion* yang dapat mengikis hingga horison B akibat meningkatnya konsentrasi aliran (Sartohadi, Suratman, & Dewi, 2013). Erosi parit juga dapat terbentuk dari adanya aliran bawah permukaan. Aliran bawah permukaan dapat keluar sebagai rembesan dan terbentuk erosi alur yang kemudian dapat berkembang menjadi erosi parit karena rembesan yang keluar terus menerus sangat berpotensi untuk menjadi aliran permukaan (Wilson, Cullum, & Römken, 2008).

Fluktuasi konsentrasi aliran adalah faktor yang menyebabkan terjadinya perkembangan alur dan nantinya dapat terbentuk erosi parit (Wells, Momm, Rigby, Bennett, Bingner, & Dabney, 2013). Meningkatnya konsentrasi aliran dipengaruhi oleh kemiringan lereng, material, keberadaan vegetasi, dan intensitas hujan (Valentin, Poesen, & Li,

2005). Menurut Skagen, Melcher, & Haukos (2008), semakin tinggi tingkat kerapatan vegetasi akan semakin baik kemampuan infiltrasinya sehingga mampu mengurangi potensi terbentuknya aliran permukaan.

Erosi parit terjadi karena adanya akumulasi aliran yang membentuk alur, semakin besar akumulasi aliran maka konsentrasi aliran juga semakin besar sehingga alur yang terbentuk memiliki morfometri yang besar dan menjadi erosi parit (Kirkby & Bracken, 2009). Erosi parit banyak terbentuk pada lereng yang dimanfaatkan untuk pertanian (Descroix, Barrios, Viramontes, & Poulenard, 2008). Faktor yang berpengaruh terhadap pembentukan erosi parit adalah litologi, material tanah, iklim, topografi, penggunaan lahan, dan tutupan vegetasi (Conforti, Aucelli, Robustelli, & Scarciglia, 2011).

Secara teori erosi parit sangat berpotensi terbentuk pada kondisi lereng yang relatif curam, material yang dominan debu lempungan, dan pengolahan lahan yang intensif. Dilihat dari kondisi topografi DAS Kaliwungu maka kemungkinan erosi parit dapat terbentuk hampir di seluruh DAS Kaliwungu. Apabila dilihat dari sudut vegetasi maka erosi parit berpotensi terbentuk pada wilayah dengan kerapatan vegetasi rendah. Zhang, Wang, Bai, & Lv (2015) berpendapat bahwa perubahan tingkat kerapatan vegetasi dapat berdampak langsung pada aliran permukaan dan sedimen yang diangkut.

Paper ini menyampaikan hasil penelitian yang dilakukan di DAS Kaliwungu yang merupakan salah satu DAS terdegradasi dimana dapat dijumpai jenis

erosi parit. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap tingkat kerapatan erosi parit di DAS Kaliwungu.

Pendekatan yang digunakan untuk mengetahui degradasi lahan akibat erosi parit adalah dengan pengukuran kerapatan erosi parit. Tingkat kerapatan erosi parit diukur menggunakan metode yang diadopsi dari pengukuran tingkat kerapatan sungai atau aliran (Soewarno, 1991).

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi

Pengecekan lapangan dilaksanakan di DAS Kaliwungu pada periode November 2016 hingga November 2017. Secara administratif DAS Kaliwungu berada pada Kecamatan Kajoran, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. DAS Kaliwungu meliputi tiga wilayah desa yaitu Desa Kwaderan, Wonogiri, dan Wuwuharjo. Luas DAS Kaliwungu sebesar 299 ha. DAS Kaliwungu berada pada bagian lereng kaki Gunung Sumbing bagian selatan. Secara umum DAS Kaliwungu memiliki karakteristik berbukit dengan lereng yang relatif curam. DAS Kaliwungu memiliki kondisi tanah yang cukup tebal dengan material permukaan berasal dari Gunung Sumbing Tua dan Muda. Banyaknya temuan erosi parit hingga longsor pada karakteristik geomorologi yang beragam menjadikan penelitian terkait tingkat kerapatan erosi parit menarik untuk dikaji.

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian merupakan data primer erosi parit, DEM (*Digital Elevation Model*), citra Sentinel, Terra-SAR X dengan resolusi spasial 10 m dan citra foto udara. Alat yang digunakan adalah *single ring infiltrometer* untuk mengukur infiltrasi, *software ENVI (The Environment for Visualizing Images)* dan *software ArcGIS (Geographic Information System)* dan Microsoft Excel.

C. Metode Penelitian

Pengumpulan data dilakukan dengan metode survei langsung di lapangan (sebaran erosi parit, morfometri erosi parit, dan laju infiltrasi) dan beberapa data diperoleh melalui pengolahan data yang telah ada terlebih dahulu (kemiringan lereng, kerapatan vegetasi, penggunaan lahan, dan tingkat kerapatan erosi parit). Survei lapangan dilakukan untuk mengetahui keberadaan erosi parit. Daerah tangkapan erosi parit kemudian di tumpangsusun dengan peta penggunaan lahan dan peta bentuk lahan. Peta penggunaan lahan diperoleh berdasarkan interpretasi citra foto udara. Citra foto udara juga digunakan untuk melihat tingkat kerapatan vegetasi dan didukung dengan data hasil pengolahan citra sentinel. Band yang paling dibutuhkan untuk mengukur tingkat kerapatan vegetasi adalah band merah dan inframerah dekat. Kedua band memberikan pantulan spektral yang tinggi dan sesuai untuk monitoring vegetasi (Zhao, Mu, Wen, Wang, & Gao, 2013; Hunt, Doraiswamy, McMurtrey, Daughtry, Perry, & Akhmedov, 2013; Mutanga, Adam, & Azong, 2012).

Pengolahan citra dilakukan menggunakan perangkat lunak ENVI dan *arcGIS*. Sebelum diolah lebih lanjut, dilakukan koreksi radiometrik pada citra Sentinel. Koreksi radiometrik dilakukan untuk mengurangi kesalahan yang terjadi pada citra dengan prinsip mengoreksi piksel pada citra Sentinel. Pengolahan kerapatan vegetasi menggunakan perhitungan rumus NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Keterangan (*Remark*):

NIR : Band inframerah dekat

RED : Band merah

Data DEM Terra-SAR X dengan resolusi spasial kurang lebih 10 m digunakan sebagai dasar interpretasi bentuk lahan dan identifikasi kelas lereng. Terdapat 5 satuan bentuk lahan yang dapat dibedakan berdasarkan perbedaan morfologi di DAS Kaliwungu. Lima bentuk lahan yang terbentuk pada DAS Kaliwungu adalah zona residual, zona erosi atas, zona erosi tengah, zona erosi bawah, dan zona deposisi. Bentuk lahan juga dipengaruhi oleh aktivitas manusia di dalamnya seperti pengolahan lahan. Daerah tangkapan erosi parit dibatasi berdasarkan interpretasi data DEM Terra-SAR X dan citra foto udara setelah diketahui titik erosi parit melalui hasil survei lapangan.

Pengukuran infiltrasi dilakukan pada setiap daerah tangkapan dimana erosi parit tersebut berada. Pengukuran infiltrasi dilakukan menggunakan *single ring infiltrometer* karena melihat material tanah yang didominasi oleh debu dan lempungan. Pengukuran infiltrasi dilakukan untuk menganalisis kemampuan tanah

dalam meloloskan air secara aktual atau langsung pada kejadian hujan. Laju infiltrasi dapat menunjukkan potensi terjadinya limpasan permukaan ketika turun hujan. Pengolahan data infiltrasi menggunakan metode Horton dan dilakukan dengan *microsoft excel*. Berikut adalah rumus pengukuran infiltrasi menurut Horton (Todd, 1980).

$$F_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (2)$$

Keterangan (*Remark*):

- f_t : Kapasitas infiltrasi pada saat ke t
- f_0 : Kapasitas infiltrasi awal
- f_c : Kapasitas infiltrasi konstan, yang tergantung pada tipe tanah
- k : Konstanta yang menunjukkan laju pengurangan kapasitas infiltrasi

Kelas infiltrasi dapat menggambarkan jenis tanah pada lokasi pengukuran. Besarnya laju infiltrasi diklasifikasikan menurut *United States Department of Agriculture* (USDA) dan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel (Table) 1. Klasifikasi infiltrasi menurut USDA
 (*Infiltration classes based on USDA*)

Tipe tanah (<i>Soil type</i>)	Laju infiltrasi (<i>Infiltration rate</i>) (inch/hour)
Pasir	>0,8
Berpasir dan berdebu	0,4-0,8
Geluh	0,2-0,4
Lempung	0,04-0,2
Tanah lempung Bersodium	<0,04

Pengolahan data tingkat kerapatan erosi parit menggunakan perbandingan panjang erosi parit dan volume erosi parit dengan luas daerah tangkapan erosi parit. Volume erosi parit diukur menggunakan perhitungan sebagai berikut (Hudson, 1993).

$$V = \left(\frac{A1+A2}{2} \times L \right) + \left(\frac{A2+A3}{2} \times L \right) \quad (3)$$

Keterangan (*Remark*):

- A : Luas penampang
- L : Panjang segmen erosi parit

Pengukuran tingkat kerapatan erosi parit menggunakan pendekatan dari kerapatan aliran dari (Soewarno, 1991) dengan rumus:

$$Dd = \frac{n}{A} \quad (4)$$

$$Dd = \frac{V}{A} \quad (5)$$

Keterangan (*Remark*):

- Dd : Kerapatan erosi parit
- n : Total panjang erosi parit
- V : Total volume erosi parit
- A : Luas *catchment*

Tingkat kerapatan erosi parit kemudian dikelaskan menjadi tiga kelas yaitu kerapatan tinggi, sedang, dan rendah. Pengkelasan tingkat kerapatan erosi parit dilakukan berdasarkan jumlah data dan sebaran data itu sendiri. Pengkelasan menggunakan prinsip standard deviasi dengan mempertimbangkan nilai simpangan terhadap nilai rata-rata. Pembagian kelas kerapatan erosi parit disajikan dalam Tabel 2.

Tabel (Table) 2. Kelas kerapatan erosi parit (*Density classes of gully erosion*)

No. (No)	TKP (<i>Density level of gully based on its length</i>)	KK (<i>Density class of gully</i>)	TKV (<i>Density level of gully based on its volume</i>)	KK (<i>Density class of gully</i>)
	1.	2,4-6,6	Rendah	0,01-0,08
2.	6,6-9,9	Sedang	0,08-0,2	Sedang
3.	9,9-17,6	Tinggi	0,2-1,4	Tinggi

Sumber (Source): Analisis data (*Data analysis*), 2017

Data sebaran erosi parit yang telah diolah akan dideskripsikan berdasarkan hasil tumpangsusun dengan peta penggunaan lahan dan peta bentuk lahan. Informasi karakteristik kemiringan lereng, tingkat kerapatan vegetasi, dan laju infiltrasi akan dibandingkan pada setiap daerah tangkapan erosi parit dan akan di analisis secara deskriptif untuk mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap tingkat kerapatan erosi parit. Pengamatan di lapangan juga dipertimbangkan untuk menentukan faktor yang berpengaruh terhadap tingkat kerapatan erosi parit.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sebaran erosi parit

Erosi parit di DAS Kaliwungu tersebar hampir di seluruh DAS dari hulu hingga hilir. DAS Kaliwungu memiliki lima bentuk lahan yaitu zona residual, zona erosi atas, zona erosi tengah, zona erosi bawah, dan zona deposisi. Setiap bentuk lahan mempunyai potensi proses dan jenis erosi yang berbeda-beda sesuai dengan karakteristiknya masing masing. Data sebaran erosi parit disajikan dalam Tabel 3.

Erosi parit pada DAS Kaliwungu terbentuk pada kelas lereng agak curam (15-25%) dan curam (25-40%). Erosi parit yang terdapat di DAS Kaliwungu terbentuk dari zona erosi atas hingga zona deposisi, bahkan pada 2 titik erosi, awal terbentuknya erosi parit terjadi pada zona residual. Distribusi erosi parit dapat menjadi indikator kondisi lahan suatu DAS. Kualitas lahan suatu DAS dikatakan baik apabila proses erosi terjadi sesuai pada tempat yang seharusnya. Erosi pada lahan yang baik seharusnya terbentuk pada zona erosi bawah atau paling tidak mulai terbentuk pada akhir zona erosi tengah karena sudah terbentuk konsentrasi aliran.

Secara umum kondisi DAS Kaliwungu masih cukup baik dilihat dari kondisi tutupan lahan yang masih tergolong rapat. Namun dari hasil proses geomorfologi yang terjadi di DAS Kaliwungu mengindikasikan telah terjadi kerusakan di DAS Kaliwungu. Sebaran erosi parit pada DAS Kaliwungu menunjukkan bahwa telah terjadi degradasi lahan pada DAS Kaliwungu. Pembentukan erosi parit yang sudah terjadi pada zona erosi atas dan awal zona erosi tengah merupakan indikator adanya degradasi lahan. Terdapat 10 erosi parit yang sudah mulai terbentuk pada zona erosi atas dan 4 erosi parit yang sudah mulai terbentuk pada awal zona erosi tengah. Sebaran erosi parit yang terdapat di DAS Kaliwungu menunjukkan bahwa DAS Kaliwungu telah mengalami degradasi lahan.

Erosi parit dijumpai pada tiga penggunaan lahan yaitu permukiman, tegalan, dan kebun campuran. Terdapat 14 erosi parit yang terjadi pada tegalan, 16 erosi parit pada kebun campuran, dan 3 erosi parit yang terjadi akibat permukiman.

Tabel (Table) 3. Sebaran erosi parit di DAS Kaliwungu (*Gully erosion distribution in Kaliwungu Watershed*)

Titik erosi parit (Point of gully erosion)	Koordinat erosi parit (Coordinate of gully erosion)		Bentang lahan (Land form)	Kemiringan lereng (Slope) (%)	Penggunaan lahan (Land use)	Kerapatan vegetasi (Density level of vegetation)	Infiltrasi (mm/jam) (Infiltration rate mm/hour)	Panjang erosi parit (Length of gully erosion) (m)	Volume erosi parit (Volume of gully erosion) (m ³)
	X	Y							
	1	395952							
2	396497	9168065	ZE ₁ -D	25-40	Kc	Tinggi	16,2	80,6	36,5
3	395985	9167932	ZE ₁ -ZE ₂	25-40	Tg	Tinggi	50,4	63,07	373,2
4	396102	9167857	ZE ₂ -D	25-40	Tg	Tinggi	50,4	48,6	11,7
5	396184	9167984	ZE ₃	25-40	Kc	Tinggi	50,4	24,8	6,4
6	395677	916762	R-ZE ₂	25-40	Pm	-	11,4	64	214,0
7	396219	9167264	ZE ₃	15-25	Kc	Tinggi	25,8	11,3	6,4
8	396364	9167213	ZE ₃ -D	15-25	Tg	Sedang	34,2	26,17	6,8
9	396455	9167253	ZE ₃	15-25	Kc	Tinggi	27	46	59,6
10	396438	9167592	ZE ₃ -D	25-40	Kc	Tinggi	100,2	37	3,7
11	396066	9166664	ZE ₂	25-40	Tg	Tinggi	35,4	20,3	6,3
12	395984	9167630	ZE ₂ -D	25-40	Kc	Tinggi	40,8	30,8	147,5
13	396101	9166641	ZE ₃ -D	25-40	Tg	Tinggi	35,4	33,52	51,3
14	395966	9166274	ZE ₂ -ZE ₃	15-25	Kc	Tinggi	33	114,28	316,2
15	396084	9166000	ZE ₃	25-40	Kc	Tinggi	91,8	38	104,3
16	395680	9166068	ZE ₃	15-25	Pm	-	5,4	49	159,1
17	395759	9165356	ZE ₂	25-40	Pm	-	31,2	20	80,0
18	395789	9165232	ZE ₂ -D	25-40	Kc	Tinggi	18,6	84	1808,8
19	395925	9165582	ZE ₂ -ZE ₃	25-40	Kc	Tinggi	25,8	40	72,0
20	396006	9165813	ZE ₁ -ZE ₃	25-41	Tg	Sedang	26,4	91	92,3
21	396061	9165662	ZE ₁ -ZE ₂	25-42	Tg	Sedang	26,4	40,3	4,6
22	396108	9165643	ZE ₂ -D	25-43	Tg	Sedang	26,4	69	154,9
23	396162	9165577	ZE ₃ -D	25-44	Tg	Sedang	26,4	49,7	207,6
24	396063	9165617	ZE ₂	25-45	Tg	Sedang	26,4	68	41,4
25	396028	9165556	ZE ₁ -ZE ₂	25-46	Tg	Sedang	26,4	36	14,3
26	396122	9165150	ZE ₁ -ZE ₃	25-47	Kc	Tinggi	24	80,7	111,9
27	396150	9165192	ZE ₂ -ZE ₃	25-48	Kc	Tinggi	24	74,1	42,1
28	396201	9165239	ZE ₃	25-49	Kc	Tinggi	24	26	47,7
29	396034	9165760	ZE ₁ -D	25-50	Tg	Sedang	26,4	124	355,4
30	396065	9165866	ZE ₃	25-51	Tg	Sedang	26,4	49,2	26,7
31	396014	9165584	R-ZE ₂	25-52	Tg	Sedang	26,4	52,33	44,4
32	396025	9166087	ZE ₂ -D	25-53	Kc	Tinggi	91,8	150,37	617,0
33	396309	9166242	ZE ₂ -D	25-54	Kc	Rendah	24,6	60,8	356,6
Total								1888,99	5605,0

Keterangan (Remark):

ZE₁₋₃ :Zona Erosional 1-3 R : Zona residual
D : Zona deposisi Pm : Permukiman
Kc : Kebun campuran Tg : Tegalan

Sumber (Source): Analisis data (*Data analysis*), 2017

Sebaran erosi parit menunjukkan bahwa proses erosi parit dapat dipercepat oleh pola penggunaan lahan. Erosi parit dominan terjadi pada lahan tegalan maupun kebun campuran karena pengaruh pengolahan lahan yang cukup intensif.

Sebaran erosi parit pada setiap bentuk lahan dapat menjadi indikasi bahwa bentuk lahan bukanlah faktor utama yang memicu terbentuknya erosi parit, mengacu pada salah satu faktor penciri bentuk lahan yaitu sudut atau kemiringan lereng. Material

tanah pada setiap daerah tangkapan erosi parit memiliki karakteristik yang relatif sama. Laju infiltrasi tidak secara langsung berpengaruh terhadap proses pembentukan erosi parit di DAS Kaliwungu karena kondisi morfologi di DAS Kaliwungu dengan lereng yang relatif curam menjadikan proses infiltrasi tidak berjalan optimal. Hasil pengamatan lapangan menunjukkan bahwa terbentuknya erosi parit sangat dipengaruhi oleh faktor penggunaan lahan dan pengolahan lahan.

B. Morfometri erosi parit

Morfometri adalah salah satu parameter yang dapat digunakan untuk menggambarkan karakteristik dari erosi parit. Morfometri dapat menunjukkan proses pembentukan erosi parit. Pengukuran morfometri erosi parit meliputi panjang erosi parit, kedalaman erosi parit, lebar permukaan erosi parit, lebar dasar erosi parit, dan daerah tangkapan erosi parit. Pengukuran morfometri pada satu daerah tangkapan erosi parit dilakukan pada setiap segmen yang dianggap memiliki perbedaan karakteristik morfometri yang signifikan. Survei detil dilakukan agar pengukuran benar-benar dapat menggambarkan karakteristik daerah tangkapan tersebut.

Salah satu karakteristik erosi parit yang dapat dilihat berdasarkan ukuran erosi parit adalah tipe pengikisannya. Terdapat tiga tipe pengikisan yang dijumpai di lapangan, yaitu pengikisan memanjang, melebar, dan pengikisan kearah dalam. Semua jenis pengikisan dapat dijumpai di lapangan. Pengikisan erosi parit memanjang kemungkinan akan memiliki tingkat kerapatan yang tinggi, karena parameter panjang erosi parit digunakan sebagai

perhitungan tingkat kerapatan erosi parit. Pengikisan yang intensif melebar biasanya terjadi pada erosi parit bagian bawah atau erosi parit yang berada di bagian lembah. Pengikisan intensif melebar kemungkinan karena pengikisan sudah mencapai material dasar.

Pengukuran morfometri erosi parit dilakukan pada setiap perbedaan karakter morfometri erosi parit. Data morfometri erosi parit digunakan untuk mengetahui volume erosi parit. Morfometri yang diperhatikan dalam pengukuran volume adalah lebar permukaan erosi parit, lebar dasar erosi parit, kedalaman, dan panjang erosi parit. Volume erosi parit menggambarkan tanah yang hilang akibat erosi parit.

C. Kerapatan erosi parit

Kerapatan erosi parit menunjukkan rasio panjang erosi parit pada satuan luas tertentu. Semakin panjang area yang tertutupi erosi parit maka tingkat kerapatannya akan semakin tinggi. Parameter dari morfometri erosi parit yang sangat dipertimbangkan adalah panjang erosi parit. Pengukuran panjang erosi parit dilakukan pada awal erosi parit atau *gully head* hingga zona deposisi atau akhir erosi parit. Kerapatan erosi parit juga diukur menggunakan perbandingan volume erosi parit dengan luas daerah tangkapan. Kerapatan erosi parit berdasarkan volume juga menggambarkan besarnya luasan erosi parit pada suatu daerah tangkapannya. Data kerapatan erosi parit tersaji dalam Tabel 4.

Tingkat kerapatan erosi parit berdasarkan panjang erosi parit di DAS Kaliwungu dibagi menjadi tiga kelas yaitu kerapatan erosi parit rendah, sedang, dan

tinggi. Tingkat kerapatan erosi parit di DAS Kaliwungu tersebar secara merata, terdapat 7 daerah tangkapan untuk tingkat kerapatan tinggi, 7 daerah tangkapan kerapatan sedang, dan 7 daerah tangkapan kerapatan rendah. Secara keseluruhan kerapatan erosi parit di DAS Kaliwungu adalah 8,5 km/km².

Tingkat kerapatan erosi parit berdasarkan volume juga dibagi menjadi tiga kelas kerapatan yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Tingkat kerapatan erosi parit berdasarkan volume didominasi oleh tingkat kerapatan rendah dan tinggi. Terdapat 9 daerah tangkapan dengan tingkat kerapatan erosi parit tinggi, dan 10

daerah tangkapan dengan tingkat kerapatan erosi parit rendah. Daerah tangkapan dengan tingkat kerapatan sedang hanya terdapat 2 daerah tangkapan.

Terdapat hal menarik dari perbandingan tingkat kerapatan erosi parit berdasarkan panjang dan berdasarkan volume erosi parit. Kedua tingkat kerapatan menghasilkan data kelas yang berbeda pada beberapa daerah tangkapan erosi parit. Misalnya pada daerah tangkapan yang sama dapat memiliki 2 tingkat kerapatan yang berbeda. Perbedaan tingkat kerapatan pada daerah tangkapan yang sama sangat mungkin terjadi karena perbedaan dasar pengukuran tingkat kerapatan.

Tabel (Table) 4. Data kerapatan erosi parit (*Density level of gully erosion*)

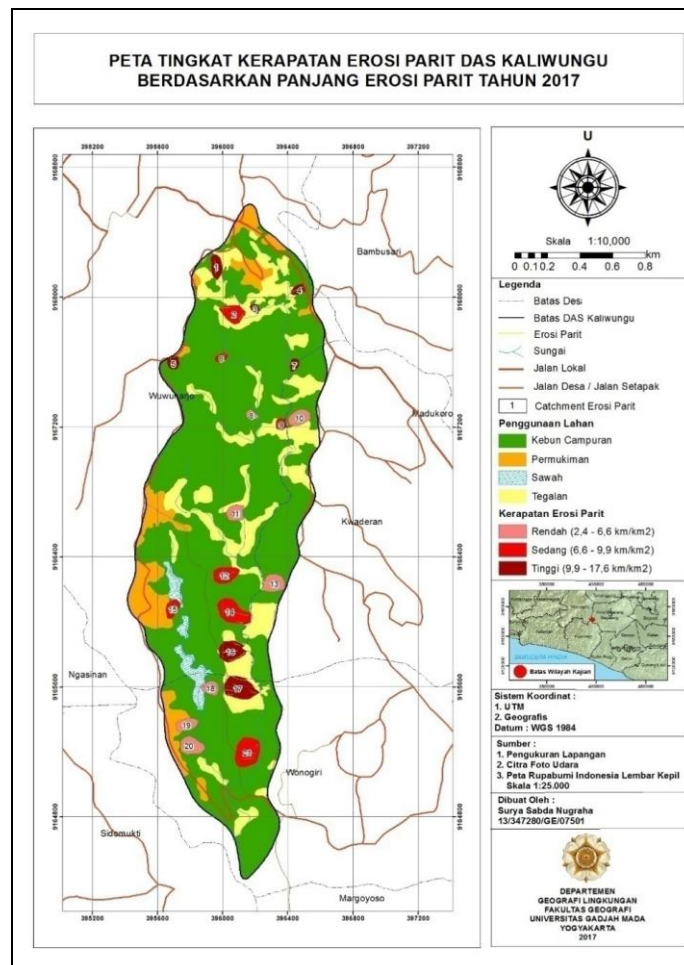
Daerah tangkapan erosi parit (<i>Catchment area of gully erosion</i>)	Berdasarkan panjang erosi parit (<i>Based on length of gully</i>)		Berdasarkan volume erosi parit (<i>Based on volume of gully</i>)	
	Kerapatan erosi parit (<i>Density of gully</i>) (m ³ /m ²)	Kelas kerapatan (<i>Density class of gully</i>)	Kerapatan erosi parit (<i>Density of gully</i>) (m ³ /m ²)	Kelas kerapatan (<i>Density class of gully</i>)
1	10.0	Tinggi	0.028	Rendah
2	9.1	Sedang	0.312	Tinggi
3	10.2	Tinggi	0.027	Rendah
4	17.6	Tinggi	0.080	Rendah
5	12.3	Tinggi	0.283	Tinggi
6	9.3	Sedang	0.011	Rendah
7	10.0	Tinggi	0.017	Rendah
8	3.7	Rendah	0.023	Rendah
9	6.8	Sedang	0.018	Rendah
10	4.6	Rendah	0.059	Rendah
11	6.3	Rendah	0.067	Rendah
12	8.7	Sedang	0.241	Tinggi
13	5.5	Rendah	0.297	Tinggi
14	8.5	Sedang	0.325	Tinggi
15	6.7	Sedang	0.217	Tinggi
16	15.2	Tinggi	0.292	Tinggi
17	10.1	Tinggi	0.217	Tinggi
18	5.5	Rendah	0.099	Sedang
19	2.4	Rendah	0.095	Sedang
20	6.6	Rendah	1.419	Tinggi
21	7.9	Sedang	0.088	Rendah

Sumber (Source): Analisis data (*Data analysis*), 2017

Erosi parit pada satu daerah tangkapan dapat memiliki morfometri yang panjang tetapi tidak lebar dan tidak dalam, sehingga memiliki volume yang tidak besar. Morfometri inilah yang berpengaruh terhadap adanya perbedaan kelas kerapatan erosi parit. Perbedaan kerapatan erosi parit dapat menunjukkan adanya perbedaan tipe pengikisan dalam proses pembentukan erosi parit pada satu daerah tangkapan.

Daerah tangkapan 4 memiliki tingkat kerapatan tinggi berdasarkan panjang dan tingkat kerapatan rendah berdasarkan volume. Erosi parit pada daerah tangkapan 4 memiliki panjang 80,6 m dan volume

0,08 m³. Erosi parit terletak pada lahan kebun campuran yang dibuat berteras dan disisi erosi parit terdapat jalan setapak. Erosi parit terbentuk mulai dari zona erosi 1 hingga zona deposisi dengan kemiringan lereng 25-40 %. Kondisi lereng yang tergolong curam menjadikan pengikisan erosi parit lebih intensif memanjang searah lereng dan semakin kebawah morfometri erosi parit semakin dalam, tetapi lebar erosi parit tidak mengalami perubahan yang signifikan. Pengikisan memanjang terjadi karena aliran permukaan yang terjadi pada lereng yang curam lebih mudah mempengaruhi proses pemanjangan erosi parit dan pendalaman pada bagian bawah erosi parit.

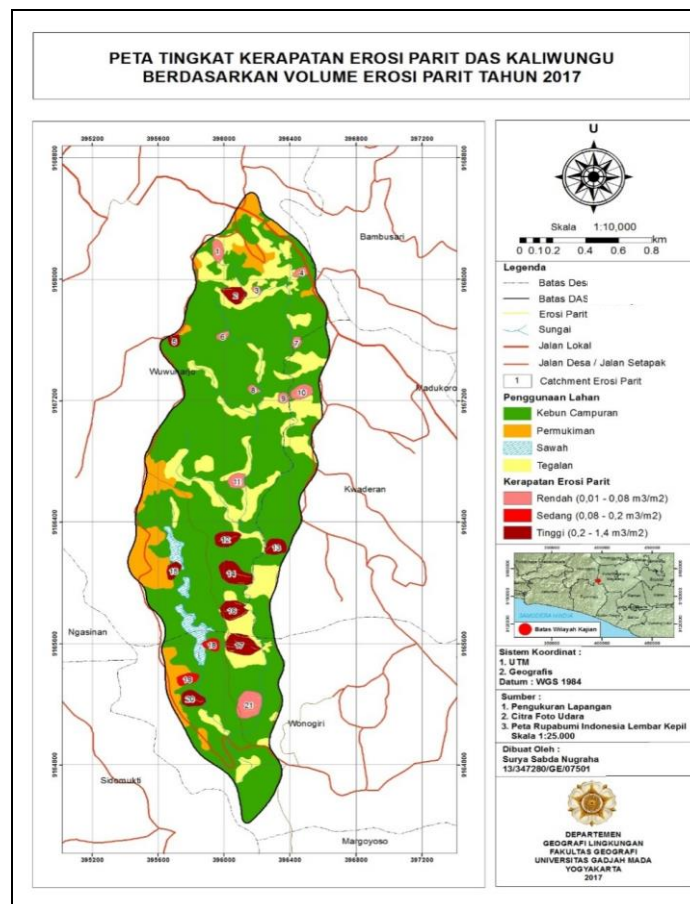


Gambar (Figure) 1. Peta kerapatan erosi parit berdasarkan panjang erosi parit (*Gully erosion density map based on length of gully erosion*)

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2017

Daerah tangkapan nomor 20 memiliki tingkat kerapatan rendah berdasarkan panjang dan tingkat kerapatan tinggi berdasarkan volume. Erosi parit pada daerah tangkapan 20 memiliki panjang erosi parit 84 m dan volume 1808,7 m³. Erosi parit terbentuk pada akhir zona erosi 2 hingga zona deposisi dengan kemiringan lereng 25-40 %. Erosi parit terletak pada lahan kebun campuran dengan vegetasi bambu. Bambu merupakan vegetasi yang banyak menyerap air dan memiliki akar serabut. Kenampakan di lapangan dapat membuktikan bahwa tanah pada lapisan dibawah bambu cenderung lembab daripada tanah di sekitarnya. Sifat bambu

yang menyerap banyak air akan mengakibatkan tanah menjadi jenuh sehingga potensi aliran menjadi lebih besar. Erosi parit pada daerah tangkapan 20 lebih intensif mengikis lebar, dalam, maupun panjang erosi parit. Letak erosi parit yang sudah berada pada zona deposisi memungkinkan bahwa erosi parit telah mencapai material dasar sehingga proses pelebaran erosi parit intensif. Kemiringan lereng yang curam menjadikan pendalaman erosi parit juga intensif terjadi. Kondisi tanah yang jenuh air menyebabkan potensi gerak massa tanah menjadi lebih besar.



Gambar (Figure) 2. Peta kerapatan erosi parit berdasarkan volume erosi parit (*Gully erosion density map based on volume of gully erosion*)

Sumber (Source): Analisis data (*Data analysis*), 2017

Daerah tangkapan 16 dan 17 memiliki tingkat kerapatan tinggi berdasarkan kedua metode pengukuran kerapatan. Kedua daerah tangkapan tersebut berada pada lahan tegalan yang diolah intensif dengan pembuatan teras. Pengolahan dengan teras memicu proses pembentukan erosi parit pada sisi-sisi teras, sehingga dalam satu area lahan tegalan dapat ditemukan lebih dari 1 erosi parit. Terdapat 3 erosi parit pada daerah tangkapan 16 dan 6 erosi parit pada daerah tangkapan 17. Akumulasi panjang erosi parit dan volume erosi parit pada kedua daerah tangkapan dapat menyebabkan keduanya memiliki tingkat kerapatan tinggi. Sebaran tingkat kerapatan erosi parit dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

D. Faktor yang mempengaruhi proses pembentukan erosi parit

Data sebaran erosi parit dan tingkat kerapatan erosi parit yang dianalisis secara deskriptif dan pengamatan lapangan menunjukkan bahwa faktor yang berpengaruh dalam proses pembentukan erosi parit adalah penggunaan lahan dan pengelolaan lahan. Variabel bentuk lahan tidak begitu berpengaruh secara spesifik terhadap proses erosi parit di DAS Kaliwungu. Erosi parit banyak terjadi pada kemiringan lereng yang hampir sama yaitu pada kelas lereng 25-40 % dan memiliki karakteristik tanah yang mirip berdasarkan uji infiltrasi yaitu lempung (*clay*). Penggunaan lahan yang terdapat di DAS Kaliwungu adalah tegalan, kebun campuran, dan permukiman. Perubahan penggunaan lahan dapat meningkatkan potensi aliran permukaan yang menjadi awal terjadinya erosi.

Secara umum kondisi vegetasi pada tegalan dan kebun campuran yang berbeda akan mempengaruhi proses terbentuknya erosi parit. Vegetasi pada tegalan sifatnya homogen dengan komoditas singkong (*Manihot utilissima*). Penanaman singkong dilakukan secara bersamaan dan dengan jarak antar tanaman yang telah diatur. Kerapatan vegetasi pada lahan tegalan juga beragam dari tingkat kerapatan sedang dan tinggi. Perbedaan tingkat kerapatan vegetasi pada tegalan dipengaruhi perbedaan usia tanaman, pada tingkat kerapatan tinggi tanaman singkong sudah tumbuh menjadi tinggi dan memiliki daun dan cabang yang relatif lebih banyak.

Tegalan berada pada bekas longsor tua yang prosesnya dilanjutkan dengan proses erosi dan longsor lagi dengan *magnitude* yang lebih kecil. Secara morfologi bentuk longsor pada lahan tegalan seperti sebuah mangkok yang relatif cekung. Secara alami bentuk longsor yang cekung akan menyebabkan terbentuknya konsentrasi aliran menuju satu titik yang biasanya pada area tengah bekas longsor. Konsentrasi aliran yang terbentuk pada bagian longsor akan menjadi awal terbentuknya erosi parit. Pengamatan di lapangan menunjukkan lahan pada bekas longsor dimanfaatkan oleh masyarakat untuk bercocok tanam karena material di area longsor lebih subur. Masyarakat memanfaatkan lahan pada bekas longsor dengan pembuatan teras.

Pembuatan teras justru menjadi pemicu terjadinya erosi parit karena teras akan menyebabkan aliran terkonsentrasi pada sisi-sisi teras. Bagian atas teras dibuat semacam saluran drainase yang mengarahkan aliran menuju sisi-sisi teras. Aliran yang terkonsentrasi pada sisi teras

inilah yang memicu terjadinya proses erosi parit. Kondisi vegetasi pada tegalan yang relatif tidak rapat menjadikan potensi adanya kontak air hujan langsung dengan tanah menjadi semakin besar sehingga potensi limpasan permukaan pun semakin besar. Besarnya potensi untuk terbentuknya limpasan permukaan dibuktikan dengan banyaknya jumlah erosi parit yang terdapat pada tegalan.

Kebun campuran diolah oleh masyarakat dengan cukup intensif. Masyarakat membuat jalan setapak pada kebun campuran dari atas hingga ke bawah untuk mempermudah akses menuju kebun yang berada di bagian lembah. Pembuatan teras oleh masyarakat akan mengarahkan aliran pada sisi-sisi teras tersebut. Pada sisi teras umumnya terdapat jalan setapak. Jalan setapak yang sering dilewati masyarakat akan mengalami pemadatan sehingga lebih berpotensi terjadi limpasan permukaan. Apabila musim hujan kondisi jalan setapak sangat labil dan mudah rusak sehingga pengikisan tanah akibat jalan setapak akan semakin besar.

Hampir semua penggunaan lahan kebun campuran memiliki tingkat kerapatan vegetasi yang tinggi. Erosi parit yang intensif terjadi pada kebun campuran dipengaruhi karena kondisi fisiologi tanaman, yaitu pada tanaman yang berpotensi memicu konsentrasi aliran. Tanaman yang berpotensi menghasilkan aliran adalah bambu, kelapa, dan aren yang dapat mengalirkan air yang banyak melalui batangnya ketika terjadi hujan. Charlier, Moussa, Cattani, Cabidoche, & Voltz (2009) mengungkapkan bahwa besarnya limpasan sangat dipengaruhi oleh sifat dan kanopi vegetasi, salah satu yang berpengaruh

adalah adanya aliran batang (*stemflow*). Apabila dilihat dari struktur daun dan batang tanaman aren menunjukkan bahwa ketika ada kontak antara air hujan dengan daun aren, maka air akan dialirkan melalui batang berpotensi menjadi limpasan justru disebabkan dari tanaman aren. Tanaman bambu memiliki akar serabut dan merupakan tanaman yang membutuhkan banyak air untuk tumbuh. Sifat bambu yang menyerap banyak air menyebabkan pada tanah bagian bawah bambu menjadi lembab atau jenuh karena mengandung lebih banyak air. Ketika tanah pada bagian bawah menjadi basah dan dengan kondisi lereng yang curam maka akan memicu adanya pergerakan massa tanah secara gravitasional. Gerak massa tanah akan memicu proses erosi parit menjadi lebih intensif (Arisandi, 2017). Karakter tanaman bambu menjadikan pada beberapa titik kebun campuran memiliki erosi parit dengan ukuran morfometri yang besar meskipun tingkat kerapatan vegetasinya tinggi.

Kondisi vegetasi pada kebun campuran memiliki sifat heterogen, sifat heterogen menjadikan kondisi vegetasi kebun campuran menjadi *multi layer* atau berlapis. Ketika terjadi hujan, air tidak langsung mengenai permukaan tanah. Sebelum jatuh mengenai tanah air akan tertahan pada lapisan 1, kemudian lapisan 2 maupun turun melalui batang pohon. Sifat vegetasi yang berlapis akan mengurangi potensi terbentuknya erosi parit sehingga pada wilayah seperti ini erosi parit tidak berkembang intensif (Mohammad & Adam, 2010).

Faktor yang berpengaruh terhadap tingkat kerapatan erosi parit berikutnya

adalah adanya permukiman. Perkembangan permukiman akan diikuti dengan perkembangan infrastruktur jalan sehingga zona kedap meningkat. Aktivitas yang dilakukan masyarakat juga akan menjadikan pemadatan tanah sehingga potensi limpasan permukaan akibat permukiman menjadi meningkat. Limpasan yang terbentuk kemudian diarahkan menuju sungai dengan saluran drainase. Saluran drainase tidak dikelola dengan benar dan hanya asal diarahkan menuju sungai melalui lereng di belakang permukiman menyebabkan limpasan permukaan terkonsentrasi pada lereng dan mempercepat proses pembentukan erosi parit. Lereng pada bagian bawah permukiman merupakan lahan kebun campuran yang pada beberapa titik berupa tanaman bambu. Pengukuran lapangan menunjukkan bahwa erosi parit yang terdapat pada sekitaran bambu memiliki morfometri yang relatif besar.

IV. KESIMPULAN

Erosi parit tersebar di seluruh DAS Kaliwungu. Terdapat kurang lebih 33 erosi parit yang sudah ditemukan di DAS Kaliwungu. Tiga puluh tiga erosi parit yang terbentuk terbagi dalam 21 daerah tangkapan. Terdapat perbedaan tingkat kerapatan erosi parit berdasarkan perhitungan dengan kedua metode yang digunakan. Perbedaan tingkat kerapatan menunjukkan perbedaan proses pembentukan erosi parit pada suatu daerah tangkapan sesuai dengan karakteristik yang ada pada daerah tangkapan tersebut. Pengukuran tingkat kerapatan berdasarkan panjang erosi parit menunjukkan bahwa tingkat kerapatan

erosi parit di DAS Kaliwungu masih tergolong sedang. Pengukuran berdasarkan volume erosi parit menunjukkan DAS Kaliwungu didominasi tingkat kerapatan rendah. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, tingkat kerapatan erosi parit akan lebih representatif jika diukur menggunakan parameter volume karena dapat menggambarkan dimensi dan kehilangan tanah akibat erosi parit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor utama yang paling berpengaruh terhadap tingkat kerapatan erosi parit adalah penggunaan lahan dan pengolahan lahan. Terdapat tiga penggunaan lahan yang berpengaruh terhadap erosi parit, yaitu tegalan, kebun campuran dan permukiman. Pembuatan teras pada tegalan dan kebun campuran menjadikan aliran permukaan terkonsentrasi pada sisi teras. Tipe vegetasi homogen menjadikan potensi adanya kontak air hujan langsung dengan tanah semakin besar, sehingga potensi terjadi limpasan juga semakin besar. Keberadaan erosi parit juga dipengaruhi oleh kondisi vegetasi pada kebun campuran. Erosi parit banyak ditemukan pada vegetasi yang cenderung berpotensi menghasilkan limpasan permukaan seperti bambu dan aren. Tingkat kerapatan erosi parit pada area permukiman dipengaruhi oleh meningkatnya zona kedap dan buruknya pengelolaan saluran drainase. Penelitian ke depan yang diperlukan adalah mencari metode-metode yang dapat digunakan untuk mencegah ataupun memperlambat terjadinya erosi parit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini terutama pada tim Laboratorium Transulent (*Transition of the natural proceses under buit-up environment*), dosen pembimbing yang telah memberikan masukan dan bimbingan selama penulisan penelitian juga kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan survei di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amiri, F., Rashid, A., & Shariff, B. M. (2012). Application of geographic information systems in land- use suitability evaluation for beekeeping: A case study of Vahregan watershed (Iran), 7(1), 89–97. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.1037>
- Arisandi, D. (2017). *Sebaran spasial hasil proses erosi parit (gully erosion) yang berkembang di DAS Bompon Kabupaten Magelang Provinsi Jawa Tengah*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Calabria, N., & Scarciglia, F. (2011). Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment, 881–898. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9598-2>
- Charlier, J., Moussa, R., Cattan, P., Cabidoche, Y., & Voltz, M. (2009). Modelling runoff at the plot scale taking into account rainfall partitioning by vegetation : application to stemflow of banana (*Musa spp.*) plant, 2151–2168.
- Descroix, L., Barrios, J. L. G., Viramontes, D., & Poulénard, J. (2008). Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: Their respective roles and the scale effect, 72, 325–339. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.07.003>
- Günel, H., Korucu, T., Birkas, M., Özgöz, E., & Halbacsotoara-zamfir, R. (2015). Threats to Sustainability of Soil Functions in Central and Southeast Europe, 2161–2188. <https://doi.org/10.3390/su7022161>
- Huang, W., Huang, J., Wang, X., Wang, F., & Shi, J. (2013). Comparability of Red/Near-Infrared Reflectance and NDVI Based on the Spectral Response Function between MODIS and 30 Other Satellite Sensors Using Rice Canopy Spectra, 16023–16050. <https://doi.org/10.3390/s131216023>
- Jr, E. R. H., & Perry, E. M. (2013). A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale.
- Kirkby, M. J., & Bracken, L. J. (2009). Gully processes and gully dynamics. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 34(14), 1841–1851. <https://doi.org/10.1002/esp.1866>
- Lobeck, A. K. (1939). *Geomorphology, an introduction to the study of landscapes*. New York: McGraw-Hill book company, inc.
- Mohammad, A. G., & Adam, M. A. (2010). Catena The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. *Catena*, 81(2), 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.008>
- Mutanga, O., Adam, E., & Azong, M. (2012). International Journal of Applied Earth Observation and

- Geoinformation High density biomass estimation for wetland vegetation using WorldView-2 imagery and random forest regression algorithm. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 18, 399–406.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.03.012>
- Nazari, A., Ahmadi, H., Jafari, M., Boggs, G., Ghoddousi, J., & Malekian, A. (2009). Geomorphic threshold conditions for gully erosion in Southwestern Iran (Boushehr-Samal watershed), 35, 180–189.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2009.02.004>
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., & Valentin, C. (2003). Gully erosion and environmental change : importance and research needs, 50, 91–133.
- Sartohadi, J., Suratman, J., & Dewi, N. I. S. (2013). *Pengantar geografi tanah*. Yogyakarta: Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Soewarno. (1991). *Hidrometri*. Yogyakarta: Nova.
- States, U., Survey, G., Collins, F., Fish, U. S., Service, W., & Tech, T. (2008). REDUCING SEDIMENTATION OF DEPRESSIONAL WETLANDS IN, 2(3), 594–605.
- Tesfa, A., & Mekuriaw, S. (2014). The Effect of Land Degradation on Farm Size Dynamics and Crop-Livestock Farming System in Ethiopia : A Review, 2014(January), 1–5.
- Valentin, C., Poesen, J., & Li, Y. (2005). Gully erosion : Impacts , factors and control, 63, 132–153.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.06.001>
- Wang, F. (2017). Soil erosion , conservation , and Eco- environment changes in the Loess Plateau of, (September 2013).
<https://doi.org/10.1002/ldr.2246>
- Wells, R. R., Momm, H. G., Rigby, J. R., Bennett, S. J., Bingner, R. L., & Dabney, S. M. (2013). Catena An empirical investigation of gully widening rates in upland concentrated fl ows. *Catena*, 101, 114–121.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.10.004>
- Wilson, G. V, Cullum, R. F., & Römken, M. J. M. (2008). Ephemeral gully erosion by preferential flow through a discontinuous soil-pipe, 73, 98–106.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.09.008>
- Yan, B., Fang, N. F., Zhang, P. C., & Shi, Z. H. (2013). Impacts of land use change on watershed streamflow and sediment yield: An assessment using hydrologic modelling and partial least squares regression. *Journal of Hydrology*, 484, 26–37.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.008>
- Zhang, L., Wang, J., Bai, Z., & Lv, C. (2015). Catena Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area. *Catena*, 128, 44–53.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.01.016>