

## PENGARUH BESARNYA ENERGI KINETIK TERHADAP EROSIVITAS PADA SUB DAS KOMERING HULU<sup>1</sup>

Oleh :

Dinar Dwi Anugerah Putranto<sup>a</sup>, Sarino<sup>a</sup>, Agus Lestari Yuono<sup>a</sup>, Satria  
Jaya Priatna<sup>b</sup>

<sup>a</sup>) Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UNSRI, dwianugerah@yahoo.co.id,  
Jl. Raya Inderalaya, Km. 32, Inderalaya

<sup>b</sup>) Fakultas Pertanian, UNSRI, Jl. Raya Inderalaya Km.32, Inderalaya

### ABSTRAK

Parameter yang berkaitan dengan curah hujan dan kehilangan tanah adalah erosivitas, kaitannya adalah dalam kemampuan hujan untuk mengelupas partikel tanah. Erosivitas selalu dihitung dalam bentuk energi curah hujan yang jatuh ke atas permukaan bumi, yaitu setengah waktu masa partikel persatuan luas kecepatan partikel hujan. Formula USLE dan RUSLE yang dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1958) menggunakan  $EI_{30}$ , yang mengkombinasikan Intensitas hujan selama 30 menit, dan akan menghasilkan energi untuk dapat melepaskan partikel tanah persatuan luas.

Untuk memperoleh energi maksimum pada penelitian ini, dikembangkan hubungan antara Intensitas curah hujan dengan Energi kinetik ( $EK$  dan  $I$ ) berdasarkan kondisi wilayah DAS. Penggunaan persamaan kombinasi yang berbeda, dipengaruhi oleh kondisi regional dan estimasi hasil perhitungan curah hujan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan hubungan antara Energi Kinetik dengan Intensitas curah hujan ( $EK - I$ ) dan antara Momentum dengan Intensitas Curah Hujan ( $M-I$ ) pengaruhnya terhadap besarnya erosivitas pada DAS Komering bagian hulu.

---

<sup>1</sup> Disampaikan dalam Seminar Nasional Pengelolaan DAS Terpadu untuk Kesejahteraan Masyarakat diselenggarakan oleh BPTKPDAS dan Fakultas Pertanian UNIBRAW di Malang, pada tanggal 30 September 2014.

Metode yang digunakan adalah dengan mengintegrasikan energi kinetik dan momentum dalam momen distribusi ukuran curah hujan yang jatuh ke atas permukaan bumi (Waldvogel, 1974; Testud et al., 2000; Tokay et al., 2001; Fox, 2004; Chapon et al., 2008; Uijlenhoet and Stricker, 1999).

Energi Kinetik maksimum diperoleh sebesar  $7,79 \times 10^{-3}$  MJ mm/ha/jam/tahun. Dengan Intensitas hujan 85,41 mm/jam. Keterhubungan terbaik antara Energi Kinetik dengan curah hujan diperoleh  $EK_t = 5,94 I^{1,37}$  dengan  $R^2 = 0,96$ . Korelasi antara  $M - I$  adalah 0,93. Pada kasus sub DAS Musi bagian hulu, Energi kinetik dan momentum, saling mempengaruhi yang mengindikasikan terjadinya erosi.

**Kata Kunci** : Energi Kinetik, Intensitas curah hujan, Momentum, erosivitas

## 1. Latar Belakang

Erosivitas adalah proses yang dipengaruhi oleh curah hujan untuk mengelupas partikel tanah, yang berkaitan dengan *run-off* dan kehilangan tanah dan merupakan faktor penting untuk menghitung proses erosi (Ferro et al., 1991; Mannaerts dan Gabriels, 2000; Salles dan Poesen, 2000). Erosivitas dapat diekspresikan sebagai bentuk Momentum  $M$  (Kecepatan massa Partikel) atau bentuk energi kinetik ( $EK$ , setengah waktu masa partikel dari kecepatan). Salles dan Poesen (2000) menyatakan bahwa momentum adalah variable terbaik untuk mendeskripsikan kejadian erosi. Dalam pendapat berbeda, Hudson (1971) menunjukkan bahwa momentum dan Energi Kinetik mempunyai keterhubungan yang sama dengan intensitas hujan. Brodie dan Rosewell (2007) menunjukkan bahwa energy kinetik dan momentum secara praktis saling bergantian dalam estimasi penghanyutan partikel tanah dan Morgan (2005) menyatakan bahwa energy kinetik lebih sesuai untuk mengekspresikan erosivitas yang disebabkan oleh curah hujan. Dalam kata lain, beberapa model erosi, seperti RUSLE (Renard

et al, 1997), SLEMSA (Elwell, 1978), EUROSEM (Morgan et al, 1988) atau LISEM (De Roo et al, 1996), menggunakan energy kinetic sebagai parameter untuk mengekspresikan erosivitas. Untuk mengukur energy kinetic secara langsung diperlukan hubungan dengan Intensitas hujan ( $I$ , Fornis et al, 2005).

Energi Kinetik dari curah hujan dapat diekspresikan dengan dua cara (Kinnel, 1981), yaitu energy kinetic yang bersumber dari curah hujan dalam waktu tertentu ( $EK_{time}, J m^{-2} h^{-1}$ ) dan besarnya energy kinetic curah hujan per unit curah hujan dengan volume tertentu ( $EK mm J m^{-2} mm^{-1}$ ). Korelasi antara  $EK$  dan  $I$  ditunjukkan oleh Salles et al (2002) dengan mengukur jatuhnya curah hujan dalam periode waktu yang pendek tanpa memperhatikan pengamatan secara *real time*.

Penggunaan berbagai studi tentang besarnya pengaruh intensitas hujan terhadap besarnya energi yang ditimbulkan untuk memprediksi terjadinya erosi dan arah pengendapan yang mungkin terjadi, coba diterapkan untuk menganalisis kondisi erosivitas di sub DAS Komerling bagian hulu. Persamaan energi yang digunakan mengadopsi persamaan USLE dan RUSLE (Wischmeir dan Smith, 1958) dengan menggunakan kekuatan energy ( $E$ ) dalam jangka waktu maksimum Intensitas hujan 30 menit ( $I_{30}$ ) untuk periode ulang 2 Tahun. Untuk memperoleh kuat energy  $E$ , diaplikasikan keterhubungan antara Intensitas hujan dengan Energi kinetic  $EK - I$ .

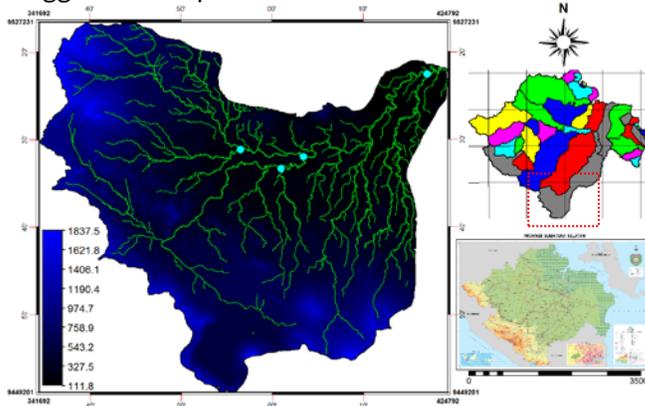
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan hubungan  $EK - I$  dan  $M - I$  pada sub DAS Komerling bagian hulu dan untuk memperoleh parameter momentum, atau energy kinetic yang terbaik untuk memprediksi erosivitas di sub DAS Komerling Bagian hulu.

## **2. Metodologi**

### **2.1. Wilayah studi**

Wilayah studi adalah Sub DAS Komerling, bagian hulu, yang merupakan bagian dari empat belas sub DAS Musi bagian hulu dan tengah wilayah DAS Musi. Secara geografis sub DAS Musi bagian hulu terletak pada

koordinat  $103^{\circ} 34' 26''$  –  $104^{\circ} 19' 15''$  Bujur Timur dan diantara  $4^{\circ} 16' 22''$  –  $4^{\circ} 58' 51''$  Lintang Selatan (Gambar 1). Luas sub DAS Komerling bagian hulu adalah 3.904 Km<sup>2</sup> yang membentang dari hulu sub DAS, yaitu Danau Ranau hingga bagian hilir di desa Martapura (Kecamatan Martapura) Oku Timur, dengan panjang sungai utama kurang lebih 112 Km. Ketinggian rata-rata sub DAS Komerling bagian hulu, daerah tertinggi adalah 1.875 m dpl dan yang paling rendah berada pada ketinggian 100 m dpl.



Gambar 1. Ketinggian wilayah sub DAS Komerling Bagian Hulu

## 2.2. Data

Data curah hujan diperoleh dari stasiun pengamatan Banding Agung (Oku Selatan) pada ketinggian 700 m dpl dan stasiun Belintang (OKU Timur) dengan ketinggian 100 m dpl untuk periode waktu pengamatan selama 12 Tahun (2001 – 2013). Sementara untuk kemiringan lereng diperoleh dari analisis DEM dengan menggunakan data ketinggian (kontur) yang diperoleh dari Shuttle Radar Topography Mission digital Elevation Model (SRTM) dengan resolusi 25 m, dari Balai DAS Musi, Provinsi Sumatera Selatan (2013). Kemiringan lereng diperoleh dengan menganalisis pembentukan Digital Terrain Model (DTM) dengan ukuran pixel 25 m. Data penggunaan lahan, jenis tanah dan data lainnya dalam skala 1 : 50.000 diinterpretasi dari citra ETM + 8 (2013) dengan resolusi 30 m yang diperoleh dari Balai DAS Musi, Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Selatan.

## 2.3. Metode

### 2.3.1. Intensitas hujan

Untuk menentukan intensitas hujan berdasarkan hujan jangka pendek, maka dibuat kurva *IDF* (*Intensity-Duration-Frequency Curve*) untuk masing masing metode yaitu : Talbot, Sherman dan Ishiguro yang kemudian dilakukan uji kesesuaian untuk dipilih yang paling mendekati dari kondisi dilapangan (Yuono, 2014).

Untuk menghitung intensitas hujan menggunakan persamaan Talbot, persamaannya adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{a}{t + b} \quad (\text{pers. 1})$$

$$a = \frac{[I.t][I^2] - [I^2.t][I]}{N[I^2] - [I][I]} \quad (\text{pers. 2})$$

$$b = \frac{[I][I.t] - N[I^2.t]}{N[I^2] - [I][I]} \quad (\text{pers. 3})$$

dimana :

$I$  = intensitas hujan (mm/jam)

$t$  = lamanya hujan (jam)

$a$  dan  $b$  = konstanta

$[ ]$  = jumlah angka-angka dalam tiap suku

$N$  = banyaknya data

Untuk menghitung intensitas hujan menggunakan persamaan Sherman, persamaannya adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{a}{t^n} \quad (\text{pers. 4})$$

$$\log a = \frac{[\log I][(\log t)^2] - [\log t \cdot \log I][\log t]}{N[(\log t)^2] - [\log t][\log t]} \quad (\text{pers. 5})$$

$$n = \frac{[\log I][\log t] - N[\log t \cdot \log I]}{N[(\log t)^2] - [\log t][\log t]} \quad (\text{pers. 6})$$

dimana :

- $I$  = intensitas hujan (mm/jam)
- $t$  = lamanya hujan (jam)
- $n$  = konstanta
- $[ ]$  = jumlah angka-angka dalam tiap suku
- $N$  = banyaknya data

Untuk menghitung intensitas hujan menggunakan persamaan Ishiguro, persamaannya adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} + b}$$

$$a = \frac{[I \cdot \sqrt{t}][I^2] - [I^2 \cdot \sqrt{t}][I]}{N[I^2] - [I][I]}$$

$$b = \frac{[I][I \cdot \sqrt{t}] - N[I^2 \cdot \sqrt{t}]}{N[I^2] - [I][I]}$$

dimana :

- $I$  = intensitas hujan (mm/jam)
- $t$  = lamanya hujan (jam)
- $a$  dan  $b$  = konstanta
- $[ ]$  = jumlah angka-angka dalam tiap suku
- $N$  = banyaknya data

### 2.3.2. Distribusi Curah Hujan

Distribusi curah hujan yang digunakan pada penelitian ini adalah distribusi

Gumbel dengan persamaan sebagai berikut :

$$X_T = b + \frac{1}{a} K_{tr}$$

$$a = \frac{S_n}{S}$$

$$b = \bar{X} - \frac{Y_n S}{S_n}$$

$$C_s = G \approx 1.4 ; C_k = 5.4$$

dengan :

X<sub>t</sub> = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahun

K<sub>tr</sub> = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata hitung variat

S = deviasi standar

a, b = konstanta

S<sub>n</sub> = *Reduced standart deviation*

Y<sub>n</sub> = *Reduced mean*

### 2.4. Energi Kinetik

Hubungan antara EK dan I, ditunjukkan dengan persamaan (Wischmeir dan Smith, 1978)

$$EK_{\text{time}} = c I EK_{\text{mm}}$$

(pers. 13)

$$E = R*(11,9+ 8,7*\log (I))$$

(pers. 14)

dimana I adalah intensitas hujan dan c adalah bilangan konstan

Energi kinetic dari intensitas hujan diekspresikan dalam bentuk volume atau waktu, momentum curah hujan. Untuk memprediksi erosi diekspresikan dalam bentuk area  $MA$  ( $kg\ m\ s^{-1}\ m^{-2}$ ), waktu  $Mt$  ( $Kg\ m\ s^{-1}\ s^{-1}$ ), atau sebagai fluktuasi momentum  $MtA$ , yang mana adalah besarnya momentum per unit area dan waktu ( $kg\ m\ s^{-1}\ m^{-2}\ s^{-1}$  atau  $N\ m^{-2}$ ).

$$M_t = d I^f$$

(pers. 15)

$$M_A = g I$$

(pers. 15)

dimana  $d$ ,  $g$ ,  $f$  adalah koefisien empiric (Brodie dan Roswell, 2007; Nanko et all, 2008)

#### 2.4.1. Estimasi besarnya tanah yang terkelupas

Terkelupasnya tanah adalah fungsi dari indeks kehilangan tanah yang didefinisikan sebagai bobot kehilangan tanah dari masa tanah per unit energi curah hujan (Testud et all, 2000; Tokay et all, 2001; Fox, 2004; Chapon, 2008)

$$F = K (E ** e^{(-0.05*A)}) 1.0 * 10^{-3}$$

(pers. 16)

dimana F adalah rata-rata kehilangan tanah  $Kg/m^2$ . K adalah index kehilangan tanah dan A adalah prosentase curah hujan yang berkontribusi terhadap intensitas hujan tersebut.

#### 2.4.2. Overland Flow

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan peta yang mengindikasikan volume *overland flow*. Overland flow (Q) dipengaruhi oleh moisture storage capacity (MS) dari permukaan tanah yang dapat diturunkan dari kemampuan lahan. Dipengaruhi juga oleh *Bulk Density* tanah (BD) dan kedalaman perakaran (RD) dari variasi penggunaan

lahan yang ada, serta rasio evapotranspirasi aktual (ET/Eto), .Rata-rata curah hujan Tahunan (R) dan banyaknya hujan harian (Rn).

$$Q = R \exp(-Rc/Ro) \quad (\text{pers. 17})$$

dimana,

$$Rc = 1000 * MS * BD * RD * (Et/Eo)^{0.5} \quad (\text{pers. 18})$$

$$Ro = R/Rn \quad (\text{pers. 19})$$

#### 2.4.3. Estimasi Transport Capacity

Kapasitas *transport Overland flow* (G), dipengaruhi oleh volume *overland flow* (Q) manajemen pengelolaan lahan (c) dan faktor kemiringan lereng (S).

$$G = C * Q^{2.0} * \sin(S * 10^{-3}) \quad (\text{pers. 20})$$

#### 2.5. Estimasi Erosi Tanah

Estimasi kehilangan tanah dihitung dari *transport capacity overland flow* (G) dan Estimasi terkelupasnya tanah (F). Jika *transport capacity* lebih tinggi dari harga terkelupasnya tanah, nilai terkelupasnya tanah akan dianggap sebagai kehilangan tanah. Dengan cara yang sama, apabila nilai terkelupasnya tanah lebih tinggi dari *transport capacity* dari *overland flow*, nilai *transport capacity* akan disamakan dengan kehilangan tanah.

### 3. Hasil dan Pembahasan

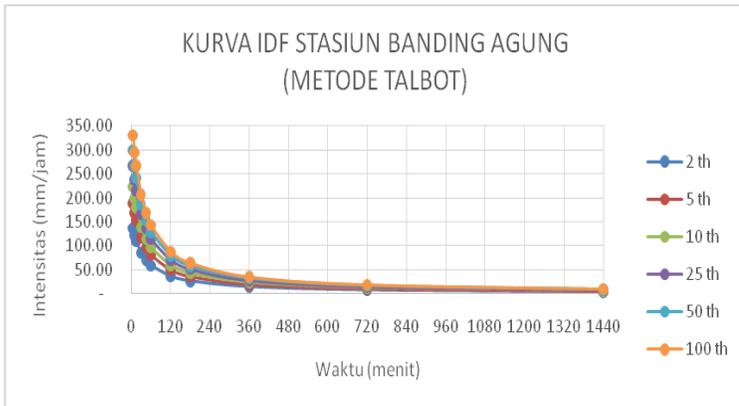
#### 3.1. Intensitas hujan wilayah studi

Dari hasil perhitungan dan uji kesesuaian intensitas hujan berdasarkan curah hujan jangka pendek, maka persamaan Talbot merupakan persamaan yang paling mendekati kondisi dilapangan. Hasil hitungan intensitas selengkapnya adalah sebagai berikut :

- a. Sub DAS Komering

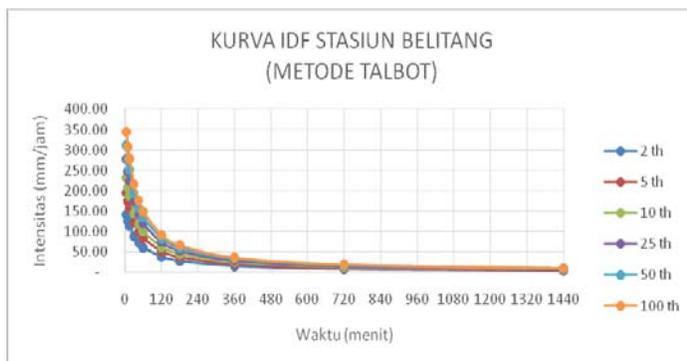
(1) Stasiun Banding Agung

No	t (menit)	I-2	I-5	I-10	I-25	I-50	I-100
1	5	136.72	188.77	223.23	266.77	299.07	331.14
2	10	122.06	168.52	199.29	238.16	267.00	295.62
3	15	110.23	152.20	179.98	215.09	241.13	266.99
4	30	85.41	117.93	139.46	166.66	186.84	206.87
5	45	69.72	96.25	113.83	136.03	152.50	168.85
6	60	58.89	81.31	96.16	114.91	128.82	142.63
7	120	36.33	50.16	59.32	70.89	79.47	87.99
8	180	26.27	36.27	42.89	51.25	57.46	63.62
9	360	14.35	19.81	23.42	27.99	31.38	34.75
10	720	7.52	10.38	12.28	14.67	16.45	18.21
11	1440	3.85	5.32	6.29	7.52	8.43	9.33



## (2) Stasiun Belintang

No	t (menit)	I-2	I-5	I-10	I-25	I-50	I-100
1	5	140.66	195.42	231.67	277.48	311.46	345.19
2	10	125.57	174.46	206.82	247.72	278.05	308.17
3	15	113.41	157.56	186.79	223.72	251.12	278.32
4	30	87.87	122.08	144.73	173.35	194.57	215.65
5	45	71.72	99.64	118.13	141.49	158.81	176.02
6	60	60.59	84.17	99.79	119.52	134.16	148.69
7	120	37.38	51.93	61.56	73.73	82.76	91.73
8	180	27.02	37.54	44.51	53.31	59.84	66.32
9	360	14.76	20.50	24.31	29.12	32.68	36.22
10	720	7.74	10.75	12.74	15.26	17.13	18.99
11	1440	3.96	5.51	6.53	7.82	8.78	9.73



### 3.2. Keterhubungan EK-I dan M-I

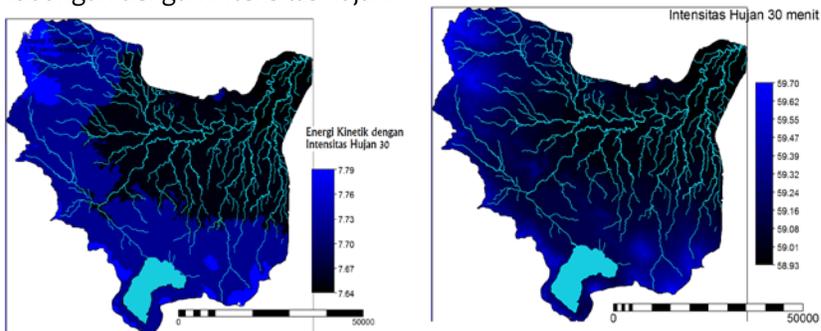
Pada wilayah sub DAS Komerling bagian hulu, curah hujan harian yang diperoleh dari dua stasiun pengamatan menunjukkan intensitas yang tidak merata, namun intensitas yang tinggi mempunyai potensi untuk memproduksi erosi. Untuk kejadian hujan hari yang sama, tidak akan berpengaruh apabila waktu terjadinya tidak lebih dari 30 menit. Dari hasil perhitungan, intensitas hujan yang sesuai untuk saat ini adalah

intensitas hujan 30 menit untuk periode ulang dua tahun ( $I_{30} K_2$ ). Hubungan terbaik antara Momentum ( $M_{tA}$ ) dan Intensitas hujan ( $M - I$ ) di wilayah sub DAS Komerling bagian hulu adalah dengan coefisin corelasi :

$$M_{tA} = 0,93 I^{1,18}$$

$$R^2 = 0,98$$

Fluktuasi Momentum ( $M_{tA}$ ) dan energi kinetik dikorelasikan menghasilkan  $R^2$  rendah, 0,29. Sementara korelasi antara  $EK_{time}$  dan  $M_{tA}$  dihasilkan dalam  $R^2 = 0,99$  dimana keduanya mempunyai hubungan dengan Intensitas hujan.

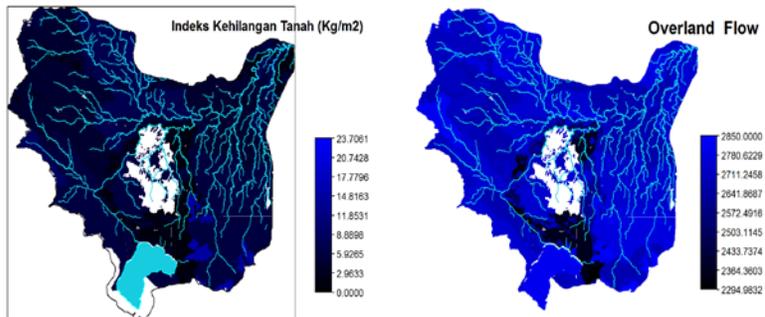


Gambar 2. Intensitas hujan ( $I_{30}$ ) wilayah sub DAS Komerling bagian hulu untuk periode ulang 2 tahun dan Energi Kinetik yang ditimbulkan.

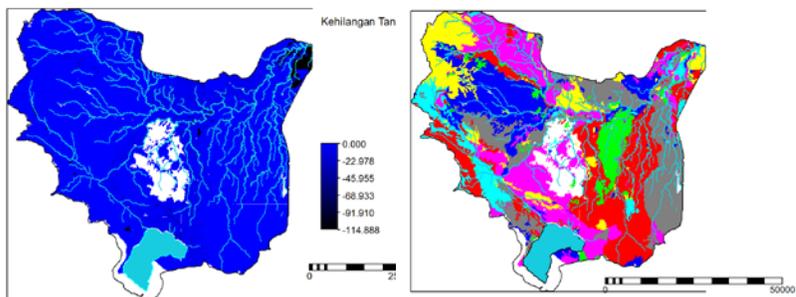
### 3.3. Erosivitas curah hujan

Erosi menyebabkan kehilangan tanah, bahaya bagi pertanian, infrastruktur dan polutan air. Perubahan dalam pola curah hujan akan mempengaruhi terjadinya erosi. Parameter utama yang berkaitan dengan kehilangan tanah untuk erosi curah hujan adalah erosivitas. Memetakan erosivitas penting untuk mendeteksi area yang mungkin akan terjadi erosi untuk tujuan manajemen dan konservasi lahan.

Erosivitas bulanan tertinggi untuk periode 12 tahun adalah bulan Desember dengan Curah hujan mencapai 306 mm. Sementara erosivitas terendah terjadi pada bulan Agustus, dengan curah hujan 177 mm.



Gambar 3. Estimasi kehilangan tanah dan overland flow sub DAS Komering hulu



Gambar 4. Estimasi Kehilangan tanah per Land use dan estimasi kehilangan tanah per unit tanah

#### 4. Kesimpulan

- Keterhubungan antara Energi kinetik dan Intensitas curah hujan yang terbaik adalah  $EKt = 5,94 I^{1,37}$  dengan  $R^2 = 0,96$ . Sementara korelasi antara  $M - I$  adalah 0,93.
- Energi Kinetik maksimum diperoleh sebesar  $7,79 \times 10^{-3} MJ mm/ha/jam/tahun$ . dengan Intensitas hujan 85,41 mm/jam
- Erosivitas bulanan tertinggi untuk periode 12 tahun adalah bulan Desember dengan Curah hujan mencapai 306 mm. Sementara erosivitas terendah terjadi pada bulan Agustus, dengan curah hujan 177 mm.
- Curah hujan di sub DAS Komering Hulu dipengaruhi oleh faktor ketinggian, dimana nilai erosivitas yang tinggi

terjadi pada elevasi 750 m dengan kemiringan lereng antara  $28^{\circ}$  -  $33^{\circ}$  dan jenis tanah berbutir pasir menyebabkan area tersebut mudah terjadi erosi

## DAFTAR PUSTAKA

- Atlas, D., Ulbrich, C.W., 1977. Pathandareaintegrated rainfall measurement by microwave attenuation in the 13 cm band. *Journal of Applied Meteorology* 16, 1322–1331
- Brodie, I., Rosewell, C., 2007. Theoretical relationships between rainfall intensity and kinetic energy variants associated with stormwater particle washoff. *Journal of Hydrology* 340, 40–47.
- Chapon, B., Delrieu, G., Gosset, M., Boudevillain, B., 2008. Variability of rain drop size distribution and its effect on the ZR relationship: A case study for intense Mediterranean rainfall. *Atmospheric Research* 87, 52–65.
- De Roo, A.P.J., Wesseling, C.G., Ritsema, C.J., 1996. LISEM: A singleevent physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: Theory, input and output. *Hydrological Processes* 10, 1107– 1117.
- Elwell, H., 1978. Modelling soil losses in Southern Africa. *Journal of Agricultural Engineering Research* 23, 117 – 127.
- Fornis, R.L., Vermeulen, H.R., Nieuwenhuis, J.D., 2005. Kinetic energyrainfall intensity relationship for Central Cebu, Philippines for soil erosion studies. *Journal of Hydrology* 300, 20–32.
- Fox, N.I., 2004. Technical note: The representation of rainfall dropsize distribution and kinetic energy. *Hydrology and Earth System Sciences* 8, 1001–1007.
- Ferro, V., Porto, P., Yu, B., 1999. A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia. *Hydrological Sciences Journal* 44, 3–24.
- Hudson, N., 1971. *Soil conservation*. B.T. Batsford, London. Second edition.
- Kinnell, P., 1981. Rainfall intensitykinetic energy relationships for soil loss prediction. *Soil Science Society of America Proceedings* 45, 153–155.

- Morgan, R., 2005. Soil erosion and conservation. Blackwell, Malden. Third edition.
- Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M.E., 1998. The European Soil Erosion Model EUROSEM: a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms* 23, 527–544.
- Mannaerts, C.M., Gabriels, D., 2000a. A probabilistic approach for predicting rainfall soil erosion losses in semiarid areas. *CATENA* 40, 403–420.
- Mannaerts, C.M., Gabriels, D., 2000b. Rainfall erosivity in Cape Verde. *Soil and Tillage Research* 55, 207–212.
- Nzeukou, A., Sauvageot, H., Ochou, A.D., Kebe, C.M.F., 2004. Raindrop size distribution and radar parameters at cape verde. *Journal of Applied Meteorology* 43, 90–105.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D., Yode, D., 1997. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D., Yode, D., 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation RUSLE. USDA Handbook 703, United States Department of Agriculture (USDA), Washington, D.C.
- Salles, C., Poesen, J., 2000. Rain properties controlling soil splash detachment. *Hydrological Processes* 14, 271–282.
- Tokay, A., Kruger, A., Krajewski, W.F., 2001. Comparison of drop size distribution measurements by impact and optical disdrometers. *Journal of Applied Meteorology* 40, 2083–2097.
- Testud, J., Oury, S., Amayenc, P., 2000. The concept of "normalized" distribution to describe raindrop spectra: A tool for hydrometeor remote sensing. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 25, 897–902
- Uijlenhoet, R., Stricker, J.N.M., 1999. A consistent rainfall parameterization based on the exponential raindrop size distribution. *Journal of Hydrology* 218, 101–127.
- Waldvogel, A., 1974. The No jump of raindrop spectra. *Journal of the Atmospheric Sciences* 31, 1067–1078.