

Prediksi Laju Sedimentasi dan Erosi di Sub DAS Kemuning Menggunakan *Rainfall Simulator*

Prediction of Sedimentation and Erosion Yield in Kemuning Watershed Using Rainfall Simulator

Idah Andriyani*, Sri Wahyuningsih, Muhamad Derajat Karim

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember,
Jl. Kalimantan No. 37, Krajan Timur, Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121, Indonesia

*Email: idahandriyani32@gmail.com

Tanggal submisi: 2 Desember 2018; Tanggal penerimaan: 14 Mei 2019

ABSTRAK

Sedimentasi adalah menumpuknya bahan sedimen di suatu lokasi akibat terjadinya erosi baik erosi permukaan maupun erosi tebing yang terjadi di daerah tangkapan air dan terbawa oleh aliran air sampai ke lokasi tersebut. Tujuan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui laju sedimentasi dengan menggunakan data kemiringan lereng dan intensitas hujan di daerah aliran sungai. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tanah yang berada di sub DAS Kemuning, dimana sub DAS Kemuning merupakan sub DAS dari DAS Bedadung yang terletak di hulu. Sampel tanah diambil di 3 titik yang berbeda yaitu hulu, tengah dan hilir, kemudian tanah dibawa ke laboratorium untuk diuji sifat fisik tanah dan laju kehilangan tanah menggunakan alat *rainfall simulator*. Pengujian sifat tanah dilokasi studi menghasilkan nilai erodibilitas di hulu, tengah dan hilir berturut-turut adalah 0,74 (sangat tinggi); 0,59 (tinggi); 0,7 (sangat tinggi). Sedangkan, konversi kondisi lapang ke alat *rainfall simulator*, menghasilkan nilai kelerengan lahan 15°. Intensitas hujan yang menghasilkan sedimentasi tertinggi pada bagian hulu, tengah dan hilir adalah 142,15 mm/jam; 132,05 mm/jam; dan 137,43 mm/jam yang terjadi selama 13,88 menit ; 15,50 menit ; 14,60 menit. Dari kombinasi seluruh nilai-nilai diatas dan pengukuran dengan *rainfall simulator* diperoleh nilai sedimentasi di hulu 39904,04 mg/L, tengah 85401,85 mg/L dan hilir 75530,00 mg/L. Dengan demikian faktor yang mempengaruhi besarnya sedimentasi di sub DAS kemuning adalah lamanya terjadinya hujan.

Kata kunci: Erosi; Jember; intensitas hujan; *rainfall simulator*; sedimentasi

ABSTRACT

Sedimentation is the accumulation of sediment materials in a location due to both surface erosion and cliff erosion that occurred in the water catchment area, and which was carried by the flow of water to that location. The purpose of this study was to determine the sedimentation rate by using slope data and rainfall intensity in the river basin area. The sample used in this study was the land located in the Kemuning watershed, in which the Kemuning watershed is a sub-watershed of the Bedadung watershed located upstream. Soil samples were taken from 3 different points, upstream, middle and downstream, then the soil was taken to the laboratory to be tested for the soil's physical properties and the rate of soil loss using a rainfall simulator tool. The research results of soil erodibility in the upstream, middle area and downstream were 0.74 (very high); 0.59 (high); and 0.7 (very high) respectively. Moreover, the calibration of slope in the field to the rainfall simulator was 15°. We found that rainfall intensity which give the highest sedimentation in the upstream, middle and downstream area were 142.15 mm/h; 132.05 mm/h; and 137.43 mm/h respectively, with rainfall durations of 13.88 minutes; 15.50 minutes; and 14.60 minutes. Finally, the sedimentation measurement results using a rainfall simulator in the upstream, middle and downstream were 39904.04 mg/L; middle 85401.85 mg/L; and downstream 75530.00 mg/L respectively. We conclude that rainfall duration gives more influence to the sedimentation.

Keywords: erosion; Jember; rainfall intensity; rainfall simulator; sedimentation

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk setiap tahunnya di daerah aliran sungai (DAS) berdampak pada semakin bertambahnya kebutuhan pangan, papan dan sandang. Peningkatan jumlah penduduk menjadi salah satu sebab terjadinya perubahan penggunaan lahan pada suatu wilayah untuk terpenuhinya kebutuhan manusia. Penggunaan sumber daya alam (SDA) yang semakin meningkat mengakibatkan pemanfaatan lahan yang melampaui daya dukung terhadap wilayah tersebut. Pembukaan kawasan hutan menjadi lahan pertanian, bahkan berubah fungsi menjadi pemukiman dan berbagai peruntukan lainnya. Sehingga menimbulkan banyak dampak negatif terhadap SDA yang ada, terutama pada lahan dan air pada DAS (Andriyani dkk., 2017).

Pembukaan kawasan hutan yang tidak terencana dan tidak diikuti oleh usaha konservasi akan meninggalkan wilayah tanah gundul yang peka terhadap erosi. Menurut Jumin (2002), erosi adalah suatu proses atau peristiwa yang menyebabkan terlepasnya partikel-partikel tanah sebagai akibat tenaga air, angin atau salju dan pengalirannya ke daerah yang lebih rendah. Jika erosi terjadi secara terus menerus dengan intensitas hujan tinggi dan topografi curam dapat menyebabkan terjadinya sedimentasi.

Sedimentasi adalah mengendapnya bahan sedimen di suatu lokasi akibat terjadinya erosi, baik

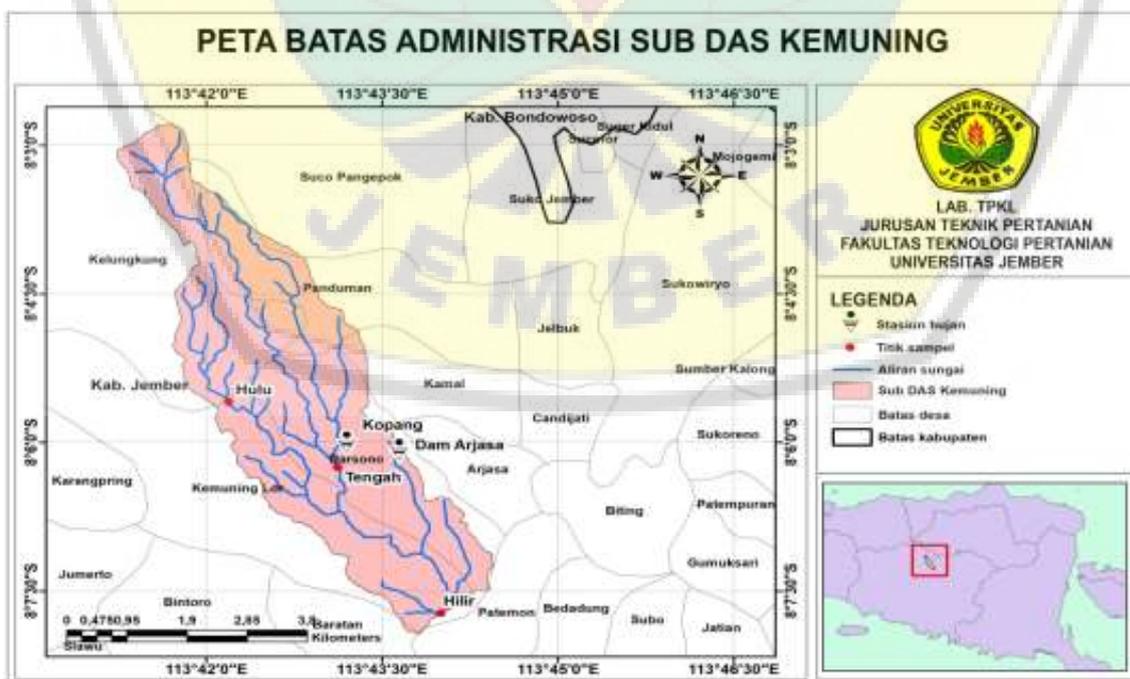
erosi permukaan maupun erosi tebing yang terjadi di daerah tangkapan air dan terbawa oleh aliran air sampai ke lokasi tersebut. Kemudian mengalami penurunan kecepatan aliran air. Hasil sedimen tergantung dari erosi total suatu DAS dan tergantung pada transport partikel-partikel tanah yang tererosi tersebut keluar dari daerah aliran sungai atau DAS.

Perlu dilakukannya simulasi untuk mengetahui laju sedimentasi di daerah aliran sungai sub DAS Kemuning dengan menggunakan alat *rainfall simulator*. Intensitas hujan sebagai pengerosi dan sampel tanah sebagai media penerima erosi. Alat *rainfall simulator* dapat mensimulasikan variasi terhadap intensitas hujan dan kemiringan lereng. Hal ini bertujuan untuk mencegah atau mengurangi dampak yang terjadi pada sub DAS dengan suatu prediksi terhadap laju sedimentasi.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di wilayah Sub DAS Kemuning. Secara Sub DAS Kemuning terletak antara 113°66'71,23" sampai 113°76'61,96" BT dan 8°14'08,66" sampai 8°04'32,58" LS. Secara administrasi Sub DAS Kemuning mencakup tiga desa, yaitu Desa Kemuning Lor, Desa Arjasa dan Desa Darsono dengan luas total sekitar 1.890 ha. Lokasi Sub DAS Kemuning dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian Sub DAS Kemuning

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan berupa data curah hujan tahunan stasiun Arjasa dan Kopang periode tahun 2004–2014 untuk menentukan intensitas hujan yang kemudian dipergunakan untuk mengatur *nozzle rainfall* sesuai dengan intensitas hujan dilapang. Dimulai dengan menentukan I_{30} (intensitas 30 menit) yang berpotensi menyebabkan erosi. Data DEM dengan resolusi 30×30 m untuk menentukan faktor kemiringan lereng di lapang yang kemudian disesuaikan dengan kemiringan pada alat *rainfall simulator*. 18 sampel tanah yang diambil masing-masing 6 sampel tanah pada lokasi pengambilan di 3 titik pada Sub DAS Kemuning di bagian hulu di desa Kemuning Lor, di bagian tengah di desa Darsono dan di bagian hilir di desa Kemuning Lor.

Alat *rainfall simulator Fel3* merupakan alat simulasi untuk melakukan percobaan dengan hujan buatan dan kemiringan. Alat ini terdiri dari dua bagian, yaitu *rainfall simulator* sendiri dan modul pelayanan yang berdiri di sampingnya. Modul pelayanan meliputi sebuah tangki *fibre glass* yang dihubungkan dengan pipa atau selang penyuplai air melalui katup bola yang berfungsi untuk menjaga ketinggian muka air dalam tangki. Air dari tangki tersebut dipompa menuju *rainfall simulator*

dengan menggunakan pompa *sentrifugal* melalui pipa atau selang pvc. Alat *rainfall simulator* sendiri dibuat dari rangka metal yang mendukung peralatan penyemprot. *Rainfall simulator* ini dapat diletakkan di lapangan atau digunakan di dalam ruangan laboratorium (Christianto dkk., 2014). Prediksi laju sedimentasi menggunakan alat *rainfall simulator*.

Metode Penelitian

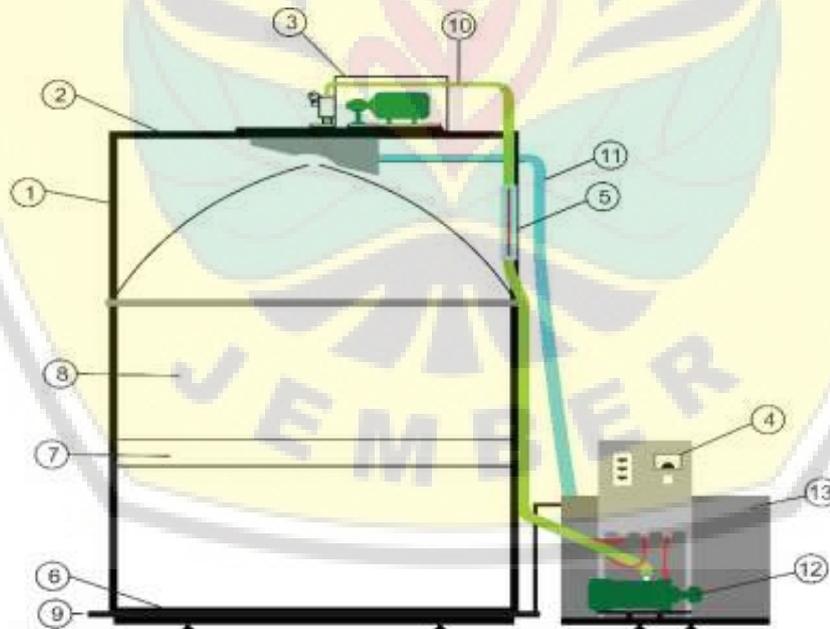
Prediksi Laju Sedimentasi

Tahapan pengolahan dan perhitungan besarnya laju sedimentasi menggunakan alat *rainfall simulator* disajikan pada Persamaan 1. Besarnya laju sedimentasi menggunakan perhitungan konsentrasi sedimen dengan cara penyaringan.

$$Cs = Cs = \frac{(b-a)}{V.air} \quad (1)$$

Keterangan:

- Cs = Konsentrasi sedimen (g/mL)
- a = kertas saring kosong (g)
- b = kertas saring isi (g)
- v_{air} = volume air (mL)



Gambar 2. Alat *rainfall simulator*

Keterangan:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1. Batang rangka penyangga | 6. Wadah |
| 2. Batang rangka bagian atas | 7. Pengikat batang vertikal |
| 3. Rangkaian peralatan penyemprot | 8. Selubung plastik PVC |
| 4. Kontrol panel | 9. Pipa pembuangan |
| 5. Alat pengukur debit air | 10. Selang fleksibel pvc |
| | 11. Kabel pengikat |

Indikasi laju sedimentasi

Tanah

Menurut Foth (diterjemahkan oleh Purbayanti dkk., 1988), tanah merupakan hasil evolusi dan mempunyai susunan teratur yang unik yang terdiri dari lapisan-lapisan atau horison-horison yang berkembang secara genetic. Parameter sifat fisik tanah yang diuji yaitu tekstur, struktur, bahan organik dan permeabilitas. Pengujian sifat-sifat tanah yang mempengaruhi erodibilitas tanah dilakukan di laboratorium tanah fakultas pertanian universitas Jember.

Intensitas hujan

Data hujan yang digunakan adalah data curah hujan tahunan dari tahun 2004-2014 yang berasal dari 2 stasiun hujan daerah penelitian (Gambar 1). Untuk menghitung intensitas hujan dapat menggunakan rumus intensitas hujan yang sering digunakan yaitu rumus mononobe.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T} \right)^{2/3} \quad (2)$$

Dimana:

I = Intensitas curah hujan rerata dalam t jam (mm/jam)

R_{24} = Curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

T = Waktu konsentrasi curah hujan (jam)

Faktor kemiringan lereng

Dalam analisis spasial untuk memperoleh kemiringan lereng maka dikembangkan dengan memanfaatkan

data *Digital Elevation Model* (DEM). Data DEM dapat diperoleh dari ASTER-GDEM. Data DEM kemudian di konversi menjadi *slope* menggunakan *tool "slope"* pada *"spatial analyst"* yang terdapat pada *software GIS*.

Simulasi *Rainfall simulator*

Metode dalam menyimulasikan alat *rainfall simulator* dengan cara alat *rainfall simulator* dikalibrasikan terlebih dahulu untuk memastikan bahwa hasil pengukuran yang dilakukan akurat dan konsisten dengan instrumen lainnya. Setelah mengetahui hasil dari kalibrasi alat *rainfall simulator*, selanjutnya alat *rainfall simulator* diatur sesuai dengan data hasil variasi intensitas hujan dan rata-rata kemiringan lereng. Setelah itu simulasi menggunakan alat *rainfall simulator* terhadap laju uji kehilangan tanah dapat dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Sifat Fisik Tanah

Karakteristik sifat fisik tanah merupakan sifat tanah yang berhubungan dengan bentuk atau kondisi tanah. Sifat fisik tanah yang mempengaruhi laju sedimentasi, seperti tekstur, struktur, dan bahan organik serta permeabilitas. Data hasil penelitian pada Sub DAS Kemuning disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 karakteristik sifat tanah diatas digunakan untuk menentukan erodibilitas dengan menggunakan nomograph tanah dan diperoleh bahwa tanah dibagian hulu dan hilir memiliki erodibilitas sangat tinggi.

Tabel 1. Karakteristik sifat fisik tanah

Karakteristik fisik tanah		Sampel		
		Hulu	Tengah	Hilir
Tekstur	% Pasir	28	19	32
	% Debu	35	45	41
	% Liat	37	36	27
Struktur		Granular halus	Gumpal, lempeng, pejal	Gumpal, lempeng, pejal
Bahan Organik	% Karbon	0,88	0,64	1,32
	% Bahan organik	1,52	1,10	2,27
	Kelas	2	2	3
	Kriteria	Sedang	Sedang	tinggi
Permeabilitas	Permeabilitas (cm/jam)	1,1185	0,0446	0,9590
	Tingkat Permeabilitas	Lambat	Sangat lambat	Lambat
	Kelas	5	6	5
Erodibilitas	Nilai	0.74	0.59	0.7
	Tingkat	Sangat tinggi	tinggi	Sangat tinggi

Menurut Bryan (1968) dalam Arsyad (1989), menyatakan bahwa debu dan pasir sangat halus lebih peka terhadap erosi. Hal ini disebabkan oleh debu dan pasir sangat halus sulit membentuk struktur yang mantap. Tanah-tanah dengan struktur granuler atau remah, mempunyai porositas yang lebih tinggi daripada tanah-tanah dengan struktur *massive* (pejal) (Hardjowigeno, 1992). Menurut Wischmeier dan Mannering (1969), tanah dengan kandungan debu tinggi, liat rendah, dan bahan organik rendah adalah yang paling mudah tererosi. Apabila kadar liat relatif tinggi, maka permeabilitas tanah menjadi sangat lambat, yang berakibat pencucian dan pemindahan koloid tanah menjadi terhambat, sehingga terbentuk tanah dengan solum tipis. Hal ini menunjukkan bahwa tanah di bagian tengah akan lebih sulit tererosi dibandingkan tanah di bagian hulu dan hilir.

Intensitas Hujan

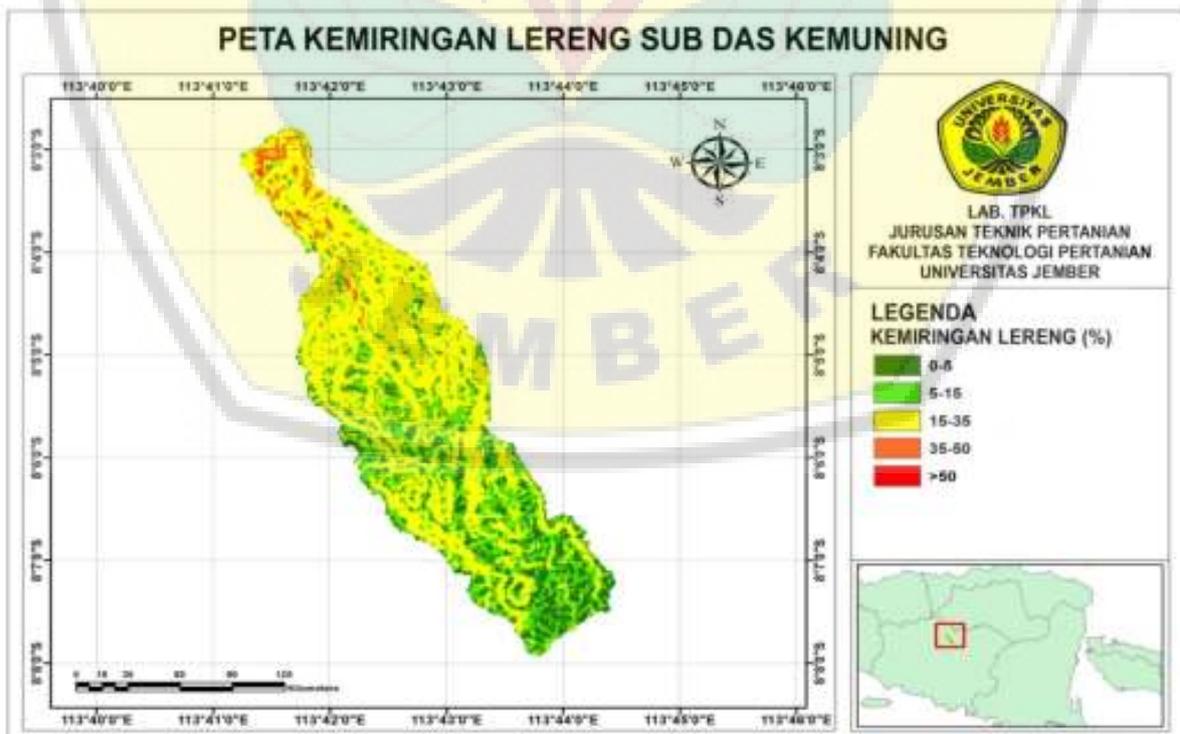
Intensitas hujan yang didapat dari perhitungan menggunakan rumus mononobe ditunjukkan pada Tabel 2. Intensitas hujan yang tinggi akan membuat nilai erosititas juga tinggi dan hal ini akan berdampak pada terjadinya erosi. Semakin tinggi intensitas hujan maka tanah akan menerima semakin banyak air hujan yang jatuh sehingga erosi yang terjadi juga semakin besar (Sucipto, 2007). Tetesan butiran-butiran hujan

Tabel 2. Intensitas Hujan

No.	t (menit)	Intensitas hujan (mm/jam)		
		Hulu	Tengah	Hilir
1	266,26	19,83	19,83	19,83
2	94,14	39,67	39,67	39,67
3	51,24	59,50	59,50	59,50
4	30,00	85,02	85,02	85,02
5	23,81	99,17	99,17	99,17
6	13,88 ; 15,50 ; 14,60	142,15	132,05	137,43

yang jatuh ke tanah mengakibatkan pecahnya agregat tanah dan membawa agregat tanah yang hancur ketempat yang lebih rendah akibat dari air limpasan. Hal ini sesuai dengan pendapat Morgan (2005), yang menyatakan bahwa erosi berkaitan erat dengan pengaruh curah hujan, sebagian melalui kekuatan pelepasan tetesan hujan yang menghantam permukaan tanah dan sebagian lagi melalui limpasan air hujan yang membawa tanah ke tempat yang lebih rendah.

Penentuan intensitas hujan pada perlakuan waktu ke 6 ditentukan sampai waktu dimana seluruh tanah pada batas pengukuran habis tererosi. Karena tanah di bagian tengah DAS memiliki curah hujan yang terendah maka waktu yang diperlukan untuk tanah



Gambar 3 Peta kemiringan lereng Sub DAS Kemuning

tererosi menjadi lebih lama hal ini juga dipengaruhi oleh erodibilitas yang lebih rendah. Di sisi lain lamanya waktu hujan pada tanah yang erodibilitasnya tinggi akan menyebabkan runoff, erosi dan sedimen yang meningkat (Jianqiao dkk., 2019). Makin besar dan lama intensitas hujan pada tanah yang mudah tererosi maka sedimentasi akan makin banyak. Dalam penelitian ini nilai intensitas hujan dan lamanya waktu terjadinya hujan lebih mempengaruhi erosi dan sedimentasi dibandingkan nilai erodibilitas tanah.

Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng akan mempengaruhi banyaknya limpasan yang terjadi. Semakin besar nilai kemiringan lereng, maka tingkat erosi yang terjadi akan lebih besar dibandingkan dengan wilayah yang datar (Wenyi dkk., 2014). Rata-rata nilai kemiringan lereng ditentukan berdasarkan peta topografi yang diolah menggunakan software Arc GIS yang ditunjukkan oleh Gambar 3.

Berdasarkan peta kemiringan lahan dihasilkan sudut kemiringan lahan yang ditunjukkan oleh Tabel 3. Rata-rata nilai kemiringan lereng berdasarkan peta topografi yang disajikan pada Tabel 3 sebesar 15°–35°. Karena keterbatasan pengaturan kemiringan pada *rainfall simulator* yang dipergunakan maka pengukuran dengan *rainfall simulator* dilakukan pada kemiringan 15°.

Intensitas Hujan Terhadap Erosi

Intensitas hujan sangat berpengaruh terhadap besar kecilnya erosi. Data hasil intensitas hujan terhadap erosi menggunakan *rainfall simulator* disajikan pada Gambar 4.

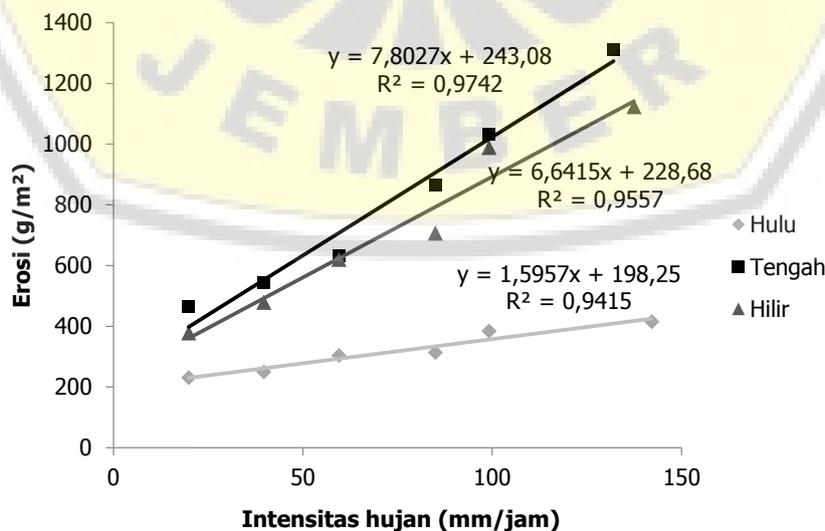
Tabel 3. Kemiringan lereng

No.	Kemiringan Lereng (°)	Luas (Ha)	Luas (%)
1	0–5	277,20	14,66
2	5–15	512,82	27,13
3	15–35	1046,70	55,37
4	35–50	52,11	2,76
5	>50	1,53	0,08
Total		1890,36	100,00

Berdasarkan pada Gambar 3 hasil uji intensitas hujan terhadap erosi, di bagian hulu, tengah dan hilir menghasilkan persamaan regresi linear $y = 1,5957x + 198,25$, $y = 7,8027x + 243,08$ dan $y = 6,6415x + 228,68$ hal ini menunjukkan bahwa adanya peningkatan jumlah erosi pada setiap pertambahan intensitas hujan. Jika setiap kenaikan variabel intensitas hujan sebesar satu akan mengakibatkan kenaikan erosi di bagian hulu, tengah dan hilir sebesar 1,5957 mg/L, 7,8027 mg/L dan 6,6415 mg/L.

Nilai koefisien determinasi di bagian hulu, tengah dan hilir menunjukkan nilai determinasi yang mendekati satu yaitu sebesar $R^2 = 0,9415$, $R^2 = 0,9742$ dan $R^2 = 0,9557$. Nilai determinasi yang mendekati satu memungkinkan data erosi yang dihasilkan mendekati kesesuaian antar kenaikan data intensitas hujan yang diujikan. Hal tersebut menunjukkan adanya kontribusi yang tinggi antara variabel intensitas hujan dengan erosi. Hal ini menunjukkan kenaikan nilai erosi sangat dipengaruhi oleh kenaikan intensitas hujan.

Nilai rata-rata erosi terkecil terdapat pada bagian hulu sebesar 231,63 g/m² dengan nilai intensitas



Gambar 4. Hasil uji intensitas hujan terhadap erosi

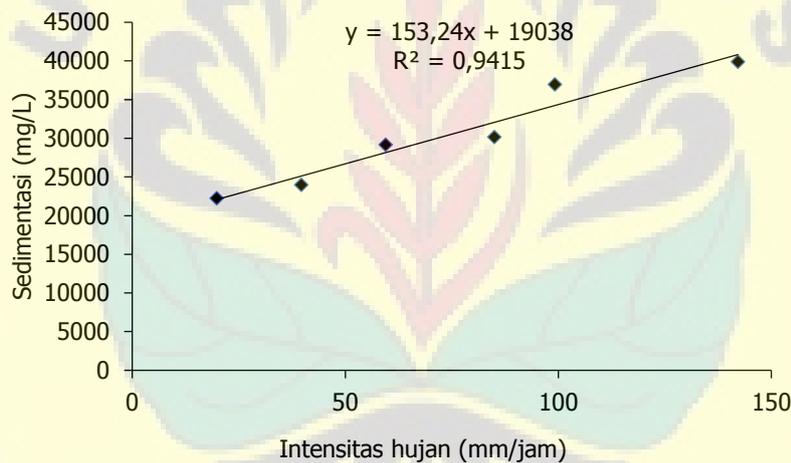
hujan 19,83 mm/jam dan nilai rata-rata erosi terbesar terdapat pada bagian tengah sebesar 1312,79 g/m² dengan nilai intensitas hujan 132,05 mm/jam. Hal ini disebabkan semakin tinggi intensitas hujan maka tanah akan menerima semakin banyak air hujan yang jatuh sehingga erosi yang terjadi juga semakin besar (Sucipto, 2007). Menurut Wischmeier dan Mannering (1969), secara umum, tanah dengan kandungan debu tinggi, liat rendah, dan bahan organik rendah adalah yang paling mudah tererosi. Selain itu permeabilitas lambat dan laju infiltrasi yang rendah mengakibatkan tingginya limpasan permukaan, yang pada akhirnya mempertinggi limpasan permukaan dan berakibat pada meningkatnya kehilangan tanah (erosi) (Arifin, 2010).

Prediksi Laju Sedimentasi

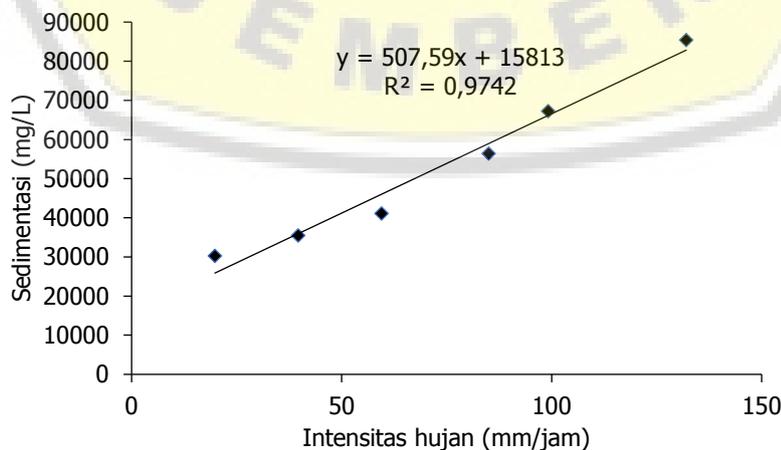
Hasil perhitungan laju sedimentasi menggunakan *rainfall simulator* ditunjukkan oleh Gambar 5, 6, dan 7.

Berdasarkan pada Gambar 5, 6 dan 7 nilai konsentrasi sedimentasi terkecil di bagian hulu, tengah dan hilir terjadi pada intensitas hujan 19,83 mm/jam yaitu sebesar 2224,41 mg/L, 3021,33 mg/L dan 2543,75 mg/L. Untuk nilai konsentrasi sedimentasi terbesar di bagian hulu, tengah dan hilir terjadi pada intensitas hujan 142,15 mm/jam, 132,05 mm/jam dan 137,43 mm/jam sebesar 3990,40 mg/L, 8540,19 mg/L dan 7553,00 mg/L.

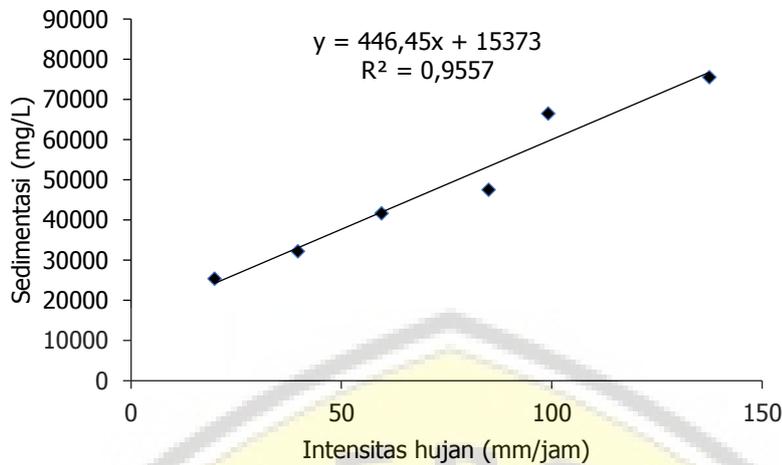
Secara keseluruhan sedimentasi di bagian tengah Sub DAS Kemuning adalah yang tertinggi, namun nilai erodibilitas tanah pada bagian tengah memiliki nilai erodibilitas rendah dan intensitas hujan yang rendah. Sedangkan menurut Arsyad (2010), tanah yang mempunyai erodibilitas tinggi akan tererosi lebih cepat dibandingkan dengan tanah yang mempunyai erodibilitas rendah dengan intensitas hujan yang sama. Hal ini terjadi karena pada tabel nomograph terdapat parameter data persentase debu + pasir sangat halus,



Gambar 5. Laju sedimentasi bagian hulu Sub DAS Kemuning



Gambar 6. Laju sedimentasi bagian tengah Sub DAS Kemuning



Gambar 7. Laju sedimentasi bagian hilir Sub DAS Kemuning

tetapi data yang digunakan yaitu data pasir kasar yang diameter pasirnya 0,2 mm. Sehingga memungkinkan data yang dihasilkan kurang akurat.

Nilai koefisien determinasi dari setiap perlakuan menunjukkan nilai determinasi yang hampir sama, ketiga perlakuan menunjukkan nilai determinasi mendekati satu. Nilai determinasi tersebut menunjukkan adanya kontribusi yang tinggi antara variabel intensitas hujan dengan sedimentasi. Hal ini menunjukkan kenaikan nilai sedimentasi sangat dipengaruhi oleh besarnya intensitas hujan. Semakin besar jumlah angkutan sedimen, maka akan menyebabkan pendangkalan terhadap sungai. Selain itu, pada saat yang bersamaan aliran sedimen dapat menurunkan kualitas perairan dan pendangkalan badan perairan (Asdak, 2010).

KESIMPULAN

Kelerengan lahan di DAS Kemuning sebagian besar adalah curam dengan kemiringan 15°-35°, secara keseluruhan kontribusi tertinggi untuk sedimentasi pada lokasi ini adalah pada bagian tengah Sub DAS Kemuning dari intensitas hujan sebesar 132,05 mm/jam yang terjadi dalam waktu 15,5 menit (periode telama). Nilai sedimentasi yang dihasilkan adalah 85401,85 mg/L, dengan nilai tersebut memberikan dampak buruk terhadap kualitas air dan pendangkalan sungai. Oleh sebab itu tindakan konservasi perlu dilakukan pada wilayah Sub DAS Kemuning untuk menurunkan laju sedimentasi dan dampak buruk yang akan terjadi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Hibah Pendukung IDB Bacth II tahun 2018 Universitas Jember dan pihak-pihak yang membantu pelaksanaan penelitian.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa artikel ini asli hasil penelitian para penulis, hanya dipublikasikan pada jurnal ini, dan tidak ada konflik kepentingan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyani, I., Jourdain, D., Lidon, B., Soni, P., and Kartiwa, B. (2017). *Upland Farming System Erosion Yields and Their Constraints to Change for Sustainable Agricultural Conservation Practices: A Case Study of Land Use and Land Cover (LULC) Change in Indonesia*. *Land Degrad. Develop*, 28, 421– 430. DOI: 10.1002/ldr.2598.
- Arifin, M. 2010. *Kajian Sifat Fisik Tanah Dan Berbagai Penggunaan Lahan Dalam Hubungannya Dengan Pendugaan Erosi Tanah*. *Jurnal Pertanian MAPETA UPN, Jawa Timur*.
- Arsyad, S. (1989). *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM Press
- Christianto, D., Yunarni, W., & Hidayah, E. (2014). *Uji Tingkat Erosi Tanah Menggunakan Rainfall Simulator Dengan Variasi Intensitas*. Jember: Teknik Sipil Universitas Jember.

Foth, H. D. (1998). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Diterjemahkan oleh Purbayanti, E. D., Lukiwati, D. R., Trimulatsih, R. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardjowigeno, S. (1992). *Ilmu Tanah*. Jakarta: PT. Medyatama Sarana Perkasa.

Jianqiao, H., Jianen, G., & Han, L. (2019). *Changes and implications of the relationship between rainfall, runoff and sediment load in the Wading River basin on the Chinese Loess Plateau*. CATENA, 175, 228-235. ISSN 0341-8162. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.024>.

Jumin, H. B. (2002). *Agronomi*. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.

Morgan, R. P. C. (2005). *Soil Erosion and Conservation (third edition)*. National Soil Resources Institute. Cranfield University, England.

Sucipto. (2007). *Analisis Erosi Yang Terjadi Di Lahan Karena Pengaruh Kepadatan*. Jurnal Wahana Teknik Sipil, 12, 51-60

Wischmeier, W. H. and J. V. Mannering. (1969). *Relation of soil properties to its erodibility*. SoilSci.Am.Proc., 33, 131-137.

Wenyi, S., Quanqin, S., Jiyuan, L., & Jun, Z. (2014). *Assessing the effects of land use and topography on soil erosion on the Loess Plateau in China*. CATENA. Vol 121, p 151-163, ISSN 0341-8162, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.05.009>.

