

PEMODELAN EROSI-SEDIMENTASI MENGGUNAKAN GIS DI HULU WADUK KEDUNGOMBO

Iwan Ridwansyah, Meti Yulianti dan Dini Daruati
Pusat Penelitian Limnologi – LIPI

Email : iwanridwansyah@gmail.com

ABSTRAK

Erosi-sedimentasi yang terjadi di hulu Waduk Kedungombo merupakan salah satu masalah yang harus dikaji dalam pengelolaan DAS Iratunseluna karena Waduk Kedungombo merupakan waduk multifungsi yang berperan dalam kesejahteraan masyarakat. Metode yang digunakan merupakan analisis spasial menggunakan Geographical Information System dengan beberapa rumus erosi-sedimentasi seperti USLE dan MUSLE. Hasil prediksi potensi erosi dengan model USLE menunjukkan bahwa di hulu Waduk Kedungombo pada kondisi tutupan lahan 2001 dan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) masih didominasi kelas potensi erosi ringan (< 15 ton/ha/tahun). Pada tutupan lahan RTRW kelas potensi erosi tinggi (> 180 ton/ha/tahun) persentase nya lebih besar dibandingkan tutupan lahan tahun 2001 pada setiap subdas. Hasil prediksi sedimen dengan model MUSLE di hulu Waduk Kedungombo menunjukkan bahwa hasil sedimen tutupan lahan RTRW lebih besar daripada tutupan lahan 2001. Di subdas Serang, pada tahun 2001 sebesar 18,428.76 ton dan 36,215.71 pada RTRW. Di subdas Laban Jengglong masing-masing 106.44 dan 15,611.29, sedangkan di subdas Ombo pada tahun 2001 sebesar 2,557.60 dan 35,708.79 pada kondisi tutupan lahan RTRW.

Kata kunci: erosi-sedimentasi, hulu Waduk Kedungombo, GIS

PENDAHULUAN

Erosi adalah peristiwa berpindahnya atau terangkutnya tanah atau bagian tanah dari satu tempat ke tempat lain oleh suatu media alami (Arsyad, 2006). Sejalan dengan hal itu, Baver (1972) menyatakan bahwa erosi oleh air adalah akibat dari daya dispersi dan daya transportasi oleh aliran air di atas permukaan tanah dalam bentuk aliran permukaan.

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, di saluran air, sungai, dan waduk. Hasil sedimen (*sediment yield*) adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu. Transport sedimen dari tempat yang lebih tinggi ke daerah hilir dapat menyebabkan pendangkalan waduk, sungai, saluran irigasi, dan terbentuknya tanah-tanah baru di pinggir-pinggir dan di delta-delta sungai.

Dalam konteks pengelolaan DAS, kegiatan pengelolaan yang dilakukan umumnya bertujuan mengendalikan atau menurunkan laju sedimentasi karena

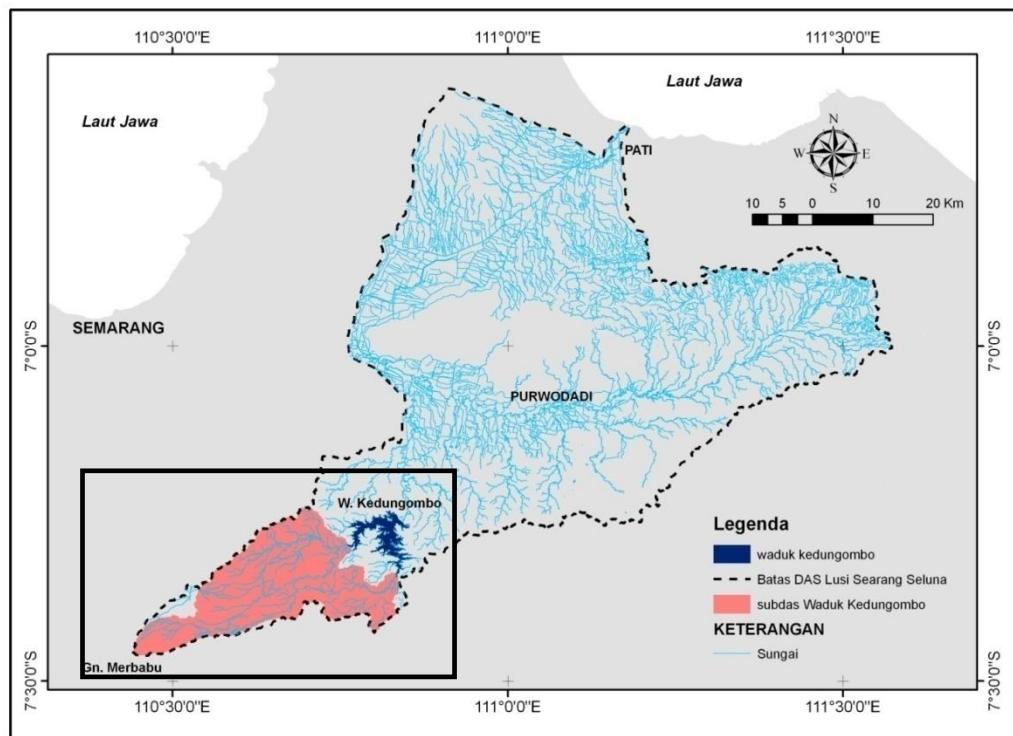
kerugian yang ditimbulkan oleh adanya proses sedimentasi jauh lebih besar daripada manfaat yang diperoleh. Dalam penelitian ini dilakukan pemodelan erosi-sedimentasi menggunakan *Geographical Information System (GIS)* untuk mengintegrasikan data keruangan dan atribut yang cukup banyak. Waduk Kedungombo adalah waduk multi fungsi yang mengairi daerah Pati, Kudus dan Demak. Kontribusinya cukup besar dalam meningkatkan meningkatkan kesejahteraan masyarakat, baik secara ekonomi, sosial maupun aspek lainnya sehingga keberadaannya perlu dilestarikan.

Sebagaimana permasalahan waduk pada umumnya, Waduk Kedungombo mengalami peningkatan sedimentasi sehingga mengakibatkan pendangkalan dan penurunan kualitas waduk.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di DAS Waduk Kedungombo yang terletak di arah Selatan Kota Semarang, Jawa Tengah. Secara Administratif DAS ini meliputi tiga kabupaten, yaitu; Kabupaten Semarang, Sragen dan Boyolali, secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat $110^{\circ} 26'14''$ E – $110^{\circ} 20' 51''$ E dan $7^{\circ} 27' 40''$ S – $7^{\circ} 14' 14''$ S. Gambar 1 memperlihatkan peta lokasi penelitian.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Kebutuhan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua katagori yaitu data spasial dan data atribut. Data spasial terdiri dari peta-peta digital sedangkan data atribut/tabel merupakan data monitoring seperti data curah hujan dan data aliran. Tabel 1 memperlihatkan kebutuhan data yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1. Kebutuhan data spasial dan atribut

No	Tipe data	Kategori	Sumber
1	Peta Penggunaan lahan	Peta digital	Hasil Interpretasi Citra Landsat Tahun 2001 dan peta RTRW dari Bappeda Jateng
2	Peta Ketinggian/DEM	Peta digital	SRTM, USGS resolusi 30 x 30
3	Peta Tanah	Peta digital	Puslitbangtanak, Skala 1 : 250.000
4	Curah hujan harian	Data tabel	BMKG

Untuk mengetahui karakteristik setiap jenis tanah juga dilakukan analisis tanah di beberapa titik contoh yang dianggap mewakili penyebaran jenis tanah di DAS Serang Lusi Juwana (Seluna) khususnya di daerah Hulu Waduk

Kedungombo. Selain itu pengamatan secara langsung di lapangan juga dilakukan untuk mengetahui faktor penutupan lahan dan pengelolaannya.

Metode USLE dan MUSLE

Pada kajian di daerah hulu waduk Kedungombo digunakan model erosi yang dikembangkan oleh Wischmeier and Smith (1978) yaitu USLE (Universal Soil Loss Equation) dan modifikasinya yaitu MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation). Model USLE digunakan untuk memprediksi distribusi spasial berdasarkan potensi karakteristik lahan, penggunaan lahan dan kekuatan hujan. Sedangkan model MUSLE digunakan untuk menduga hasil sedimen dari sub Daerah Aliran Sungai yang masuk ke waduk Kedungombo.

Model prediksi erosi USLE menggunakan persamaan empiris berikut:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

Keterangan :

A = banyaknya tanah tererosi dalam t/ha/tahun

R = faktor erosivitas hujan (KJ/ha/tahun)

K = faktor erodibilitas tanah (ton/KJ)

LS = faktor panjang-kemiringan lereng

C = faktor tanaman penutup dan manajemen tanaman

P = faktor tindakan konservasi praktis

Mengingat bahwa nilai nisbah pengangkutan sedimen (Sedimen Delivery Ratio) tidak menentu dan nilainya bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya, Williams (1975) memodifikasi model USLE yang kemudian disebut MUSLE dengan menggantikan faktor R dengan faktor aliran dan menginterpretasikan faktor USLE lainnya dalam pendekatan DAS. Persamaan MUSLE dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut:

$$SY = a (Q \cdot q_p)^b \cdot K \cdot C \cdot P \cdot LS$$

Keterangan :

SY : hasil sedimen tiap kejadian hujan (ton)

Q : volume aliran pada suatu kejadian hujan (m³)

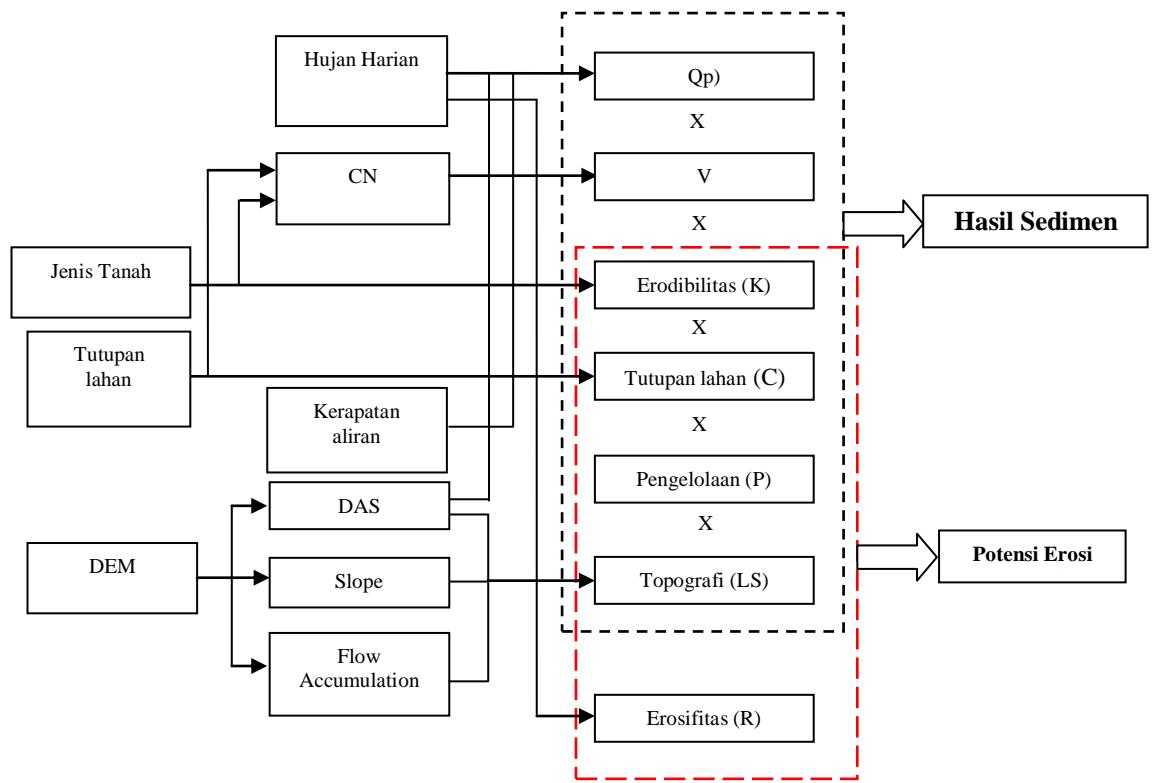
q_p : debit puncak (m³/dtk)

a&b: koefisien yang besarnya masing-masing adalah 11.8 dan 0.56.

Pemodelan dengan GIS

Perhitungan erosi dan hasil sedimen dengan metode USLE & MUSLE dilakukan menggunakan aplikasi GIS dimulai dari perhitungan faktor LS dan dilanjutkan dengan perhitungan potensi erosi dan hasil sedimen itu sendiri,

Gambar 2 memperlihatkan diagram alir kegiatan penelitian erosi dan hasil sedimen di hulu Waduk Kedongombo.



Gambar 2. Diagram alir perhitungan erosi dan hasil sedimen dengan GIS

Faktor Erosivitas Hujan (R)

Faktor R menunjukkan erosivitas iklim pada lokasi yang khusus. Karena keterbatasan alat penakar hujan otomatis, maka dalam penelitian ini nilai R dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut (Bols,1978 dalam Suripin 2004) :

$$R = 6,119 P_b^{1,211} \cdot N^{-0,474} \cdot P_{\max}^{0,526}$$

Keterangan :

P_b : curah hujan bulanan (cm)

N : jumlah hari hujan per bulan

P_{\max} : curah hujan maksimum harian (cm)

Faktor Erodibilitas Tanah (K)

Erodibilitas tanah adalah kepekaan tanah terhadap erosi yang dipengaruhi oleh sifat fisika dan kimia tanah seperti permeabilitas, struktur, tekstur, dan bahan

organik tanah. Penentuan nilai K dapat diestimasikan melalui nomograf atau persamaan Wischmeier, 1971 dalam Suripin sebagai berikut :

$$100K = 2,713 \cdot 10^{-4} (12-a)M^{1,14} + 3,25 (b-2) + (c-3)$$

Keterangan :

- K : erodibilitas tanah
M : ukuran partikel (% debu + % pasir halus)
a : kandungan bahan organik, untuk kadar bahan organik >6 % (tinggi-sangat tinggi), maka nilai 6 merupakan nilai maksimum yang dipakai
b : kelas struktur tanah
c : kelas permeabilitas

Faktor Panjang-Kemiringan Lahan (LS)

Faktor LS didapat dari DEM dengan menurunkan rumus Moore dan Burch (1986) dimana perhitungan menggunakan dua faktor utama yaitu flowaccumulation dan kecuraman lereng, *Flowaccumulation* didapat dengan menggunakan *watershed delineation* sedangkan kecuraman lereng dihitung dengan menggunakan 3DAnalyst, selanjutkan faktor LS dihitung dengan menurunkan rumus LS dalam GIS dengan algoritma dibawah ini:

$$LS = (\text{Pow}(([flowacc_ombo] * (30 / 22.13)), 0.4)) * (\text{Pow}(\text{Sin}([slopedem2] / 0.0896), 1.3))$$

Faktor Tanaman Penutup dan Manajemen Tanaman (C)

Faktor C menggambarkan nisbah antara besarnya erosi dari lahan dengan tanaman dan manajemen tertentu terhadap besarnya erosi tanah yang tidak ditanami dan tanpa pengolahan. Faktor ini mengukur kombinasi pengaruh tanaman dan pengelolaannya. Tanpa mengurangi ketelitian prediksi erosi yang hendak dicapai nilai C dapat merujuk pada publikasi yang telah ada sesuai dengan kondisi Indonesia.

Dalam penelitian ini tutupan lahan didapat dari hasil interpretasi citra landsat tahun 2001 dan peta Rencana Tata Ruang Wilayah 2005-2010 dari Bappeda Jateng.

Faktor Tindakan Konservasi Tanah (P)

Nilai faktor tindakan manusia dalam konservasi tanah adalah nisbah antara besarnya erosi dari lahan dengan suatu tindakan konservasi tertentu terhadap besarnya erosi pada lahan tanpa tindakan konservasi. Termasuk dalam tindakan

konservasi tanah adalah penanaman dalam strip, pengolahan tanah menurut kontur, gulusan dan teras. Nilai dasar P adalah satu yang diberikan untuk lahan tanpa tindakan konservasi.

Faktor Aliran

➤ Menentukan Nilai Debit Puncak

Rumus yang digunakan untuk menentukan nilai dari Debit Puncak adalah:

$$q_p = 0,278 \text{ C.I.A.} \dots \quad (1)$$

C = koefisien aliran

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas DAS (km²)

q_p = debit puncak ($m^3/detik$)

Untuk Nilai intensitas hujan (I), digunakan rumus dari Monobe. Rumus tersebut adalah sebagai berikut:

$$I = -x - \dots \quad \dots \quad (2)$$

Keterangan:

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

R24 = curah hujan dalam 1 hari (mm/hari)

➤ Menentukan Nilai Volume Aliran

Untuk menghitung Volume aliran digunakan metode yang dikembangkan oleh U.S. Soil Conservation Service, sehingga rumus yang digunakan ini dikenal dengan Metode SCS. Rumus tersebut adalah sebagai berikut:

$$Q = \dots \quad (3)$$

Keterangan:

Q = tebal aliran air (mm)

I = curah hujan (mm)

S = perbedaan antara curah hujan dan aliran air (mm)

N = bilangan kurva aliran (CN), nilai bervariasi antara 0-100.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor Erosivitas Hujan (R)

Indeks erosivitas pada tiga stasiun pengamat hujan berkisar antara 1941.28 – 2741.31 dengan rata-rata curah hujan 1626.50 - 1993.88. Secara lengkap nilai

erosivitas pada masing-masing stasiun disajikan pada Tabel 2. Indeks erosivitas hujan tinggi menunjukkan bahwa curah hujan berperan cukup besar terhadap nilai potensi erosi tanah. Energi pukulan butir-butir hujan memainkan peran dalam proses penglepasan partikel-partikel tanah serta proses aliran dalam erosi. Karakteristik hujan yang mempunyai pengaruh terhadap erosi meliputi jumlah hujan, intensitas dan lamanya hujan. Jumlah hujan yang besar tidak selalu menyebabkan erosi yang besar jika intensitasnya rendah, sebaliknya hujan lebat dalam waktu singkat mungkin hanya menyebabkan erosi yang kecil karena jumlahnya sedikit. Jika jumlah dan intensitas hujan tinggi, maka erosi yang terjadi cenderung tinggi. Secara umum karakteristik hujan di DAS Serang Lusi Juwana baik jumlah hujan maupun intensitasnya termasuk tinggi sehingga berpotensi tinggi pula mempengaruhi kejadian erosi. Dampak daya rusak hujan dapat dikurangi dengan menanam berbagai tanaman keras terutama pada lahan dengan kemiringan curam.

Tabel 2. Indeks erosivitas hujan hulu Waduk Kedung Ombo

Nama Stasiun	Curah Hujan Rata-rata Tahunan (mm)	Indeks Erosivitas Hujan (R)
Ketro	1993.88	1941.28 – 1996.334
Andong	1626.50	2303.07 – 2741.515
Karanggede	1687.22	2320.79 – 2325.467

Faktor Aliran

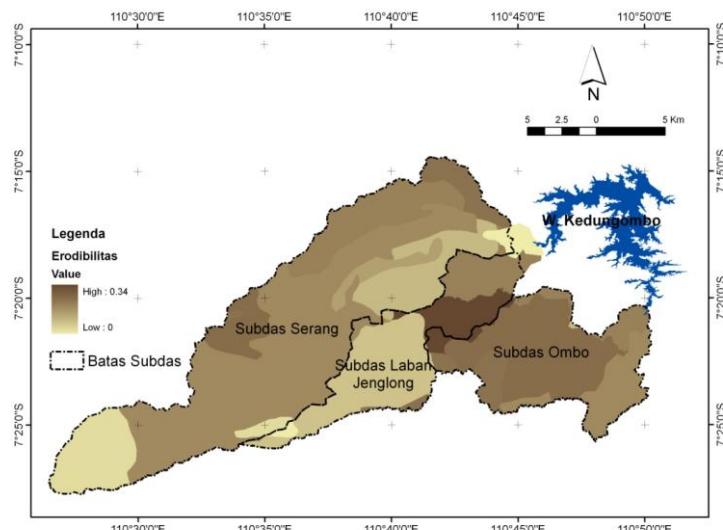
Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan komponen faktor aliran pada masing-masing subdas. Dari data yang tersaji dapat diketahui bahwa subdas Ombo mempunyai nilai volume aliran yang paling besar dibandingkan dengan subdas Serang maupun Laban Jengglong. Sedangkan berdasarkan perbandingan penggunaan lahan 2001 dan RTRW, diketahui bahwa penggunaan lahan berdasarkan RTRW mempunyai nilai potensi volume aliran lebih. Hal ini akan mempengaruhi besarnya nilai hasil sedimen pada masing-masing subdas.

Tabel 3. Nilai volume aliran dan debit puncak per subdas

Subdas	CN		R24 (mm)		I		S		Q (m ³)		qp (m ³ /dtk)	
	2001	RTRW	2001	RTRW	2001	RTRW	2001	RTRW	2001	RTRW	2001	RTRW
Serang	54.78	73.18	94.96	90.7	2.07	2.15	209.67	93.09	2,986,107.67	9,692,362.61	89.76	97.54
Laban Jengglong	58.69	76.66	105.3	95.82	2.17	2.38	178.78	77.33	773,868.92	3,806,161.81	28.43	31.69
Ombo	81.64	83.75	127	108.94	2.46	2.87	56.93	49.27	19,062,818.13	19,389,307.1	44.74	46.27

Faktor Erodibilitas Tanah (K)

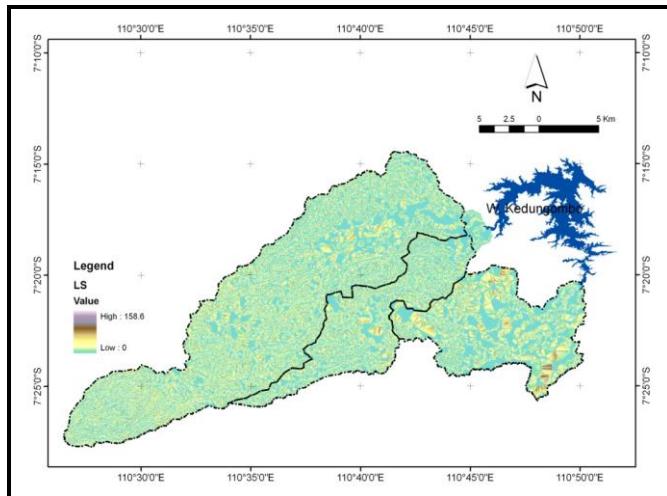
Distribusi nilai erodibilitas tanah pada daerah kajian bervariasi mulai dari 0.10 – 0.34 (sangat rendah – agak peka terhadap erosi) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3. Pada subdas Serang didominasi oleh jenis tanah yang mempunyai sifat ketahanan erosi rendah - sedang (0.14 – 0.28). Tanah berordo Inceptisols, Alfisols dan Ultisols pada daerah penelitian menunjukkan sifat fisik tanah yang tahan terhadap erosi. Subdas Ombo didominasi tanah dengan sifat erodibilitas sedang berkisar antara 0.24 – 0.28. Sedangkan pada subdas Laban Jengglong nilai erodibilitas tanahnya lebih bervariasi mulai dari sangat rendah sampai agak peka terhadap erosi. Tanah yang memiliki kepekaan terhadap erosi umumnya memiliki tekstur tanah yang agak kasar karena banyak mengandung pasir, kandungan bahan organik rendah serta sedikit mengalami perkembangan struktur. Peningkatan kandungan bahan organik dapat dilakukan untuk memperbaiki struktur serta menurunkan kepekaan tanah terhadap erosi.



Gambar 3. Peta distribusi nilai erodibilitas tanah

Faktor Kemiringan dan Panjang Lereng (LS)

Secara umum faktor LS di seluruh daerah berkisar antara 0 sampai dengan 158,6 dengan rata-rata 1.33, Gambar 4 memperlihatkan distribusi faktor LS pada masing-masing subdas di daerah penelitian. Nilai LS tinggi umumnya ditemukan pada lahan yang mempunyai kemiringan curam dan panjang. Potensi erosi akan meningkat seiring dengan meningkatnya nilai LS pada suatu lahan.



Gambar 4. Peta distribusi faktor kemiringan dan panjang lereng

Faktor Tutupan Lahan dan Pengelolaan

Berdasarkan hasil klasifikasi Citra Landsat 2001, penggunaan lahan di daerah penelitian dapat dibedakan menjadi enam jenis, yaitu hutan primer, kampung, perkebunan, sawah, semak belukar dan waduk. Sedangkan klasifikasi arahan penggunaan lahan berdasarkan RTRW terbagi menjadi sepuluh jenis, yaitu kawasan hutan, pertambangan, pertanian semusim lahan basah, pertanian semusim lahan kering, pertanian tanaman keras, sepadan danau, perdesaan, perkotaan, danau dan sepadan sungai. Masing-masing penggunaan lahan diberi nilai yang menentukan kemampuannya mempengaruhi besaran erosi. Penggunaan lahan kawasan pertanian semusim lahan kering diberi nilai faktor C paling besar yaitu 0.561 karena dari beberapa hasil penelitian lahan pertanian lahan kering sering kali berperan sebagai penghasil sedimen, sedangkan penggunaan lahan yang kedap air seperti waduk dan perkotaan diberi nilai 0. Berdasarkan data yang terlihat pada Tabel 4 pada subdas Serang, penggunaan lahan yang dominan adalah perkebunan, tetapi tidak dapat diklasifikasikan lagi berdasarkan jenis tanamannya. Pada subdas Laban Jengglong, penggunaan lahan yang dominan adalah semak belukar yang mempunyai nilai koefisien tanaman rendah (0.001) sedangkan di subdas Ombo, sawah irigasi mendominasi lebih dari setengah penggunaan lahan di subdas tersebut. Sawah irigasi umumnya berada di lahan dengan tingkat kemiringan lahan rendah sehingga memiliki potensi kecil terhadap terjadinya erosi.

Tabel 4. Distribusi penggunaan lahan tahun 2001 per subdas

Penggunaan Lahan	Serang		Laban Jengglong		Ombo	
	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%
Hutan Primer	24.48	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Kampung	2173.27	8.25	1000.30	12.19	431.81	4.35
Perkebunan	12246.20	46.51	0.00	0.00	0.00	0.00
Sawah	3788.96	14.39	1477.63	18.01	6814.92	68.71
Semak Belukar	8095.08	30.75	5726.17	69.80	2629.90	26.51
Waduk	0.00	0.00	0.00	0.00	42.25	0.43
Jumlah	26327.99	100.00	8204.10	100.00	9918.88	100.00

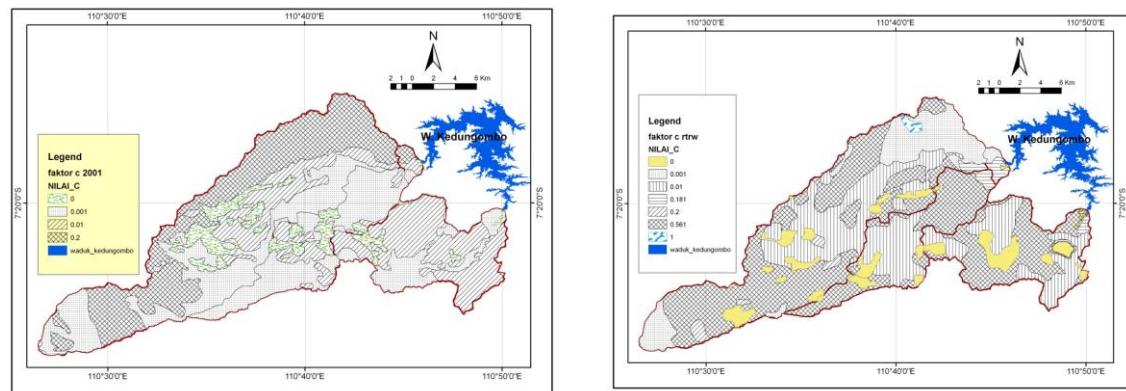
Berdasarkan RTRW (Tabel 5), hampir sebagian besar wilayah hulu Waduk Kedungombo diarahkan menjadi kawasan pertanian baik lahan kering, lahan basah maupun tanaman keras. Hal ini harus diperhatikan mengenai potensi erosi maupun hasil sedimennya karena lahan pertanian jika tidak diimbangi dengan teknik konservasi yang sesuai menjadi penyebab utama bahaya erosi dan tingginya hasil sedimen ke Waduk Kedungombo.

Tabel 5. Distribusi penggunaan lahan berdasarkan RTRW per subdas

Penggunaan Lahan	Serang		Laban Jengglong		Ombo	
	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%
Kawasan Hutan Produksi Tetap	4965,39	18,86	0,49	0,01	0,00	0,00
Kawasan Pertambangan	183,45	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00
Kawasan Pertanian Semusim Lahan Basah	6475,94	24,60	2870,49	34,99	3908,28	39,40
Kawasan Pertanian Semusim Lahan Kering	12367,63	46,98	4387,32	53,48	4300,80	43,36
Kawasan Pertanian Tanaman Keras	566,13	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00
Kawasan Sepadan Danau, Waduk dan Rawa	211,12	0,80	258,87	3,16	208,13	2,10
Perdesaan	1558,33	5,92	396,16	4,83	1060,49	10,69
Perkotaan	0,01	0,00002	290,77	3,54	63,75	0,64
Danau/Waduk/Rawa	0,00	0,00	0,00	0,00	276,73	2,79
Kawasan Sepadan Sungai/Saluran	0,00	0,00	0,00	0,00	100,71	1,02
Jumlah	26327,99	100,00	8204,10	100,00	9918,88	100,00

Faktor pengelolaan lahan atau konservasi merupakan faktor yang dipengaruhi oleh manusia. Menurut hasil penelitian Nuryantara, 1996, di daerah tangkapan hujan Waduk Kedungombo sebagian besar penduduk belum memperhatikan kaidah-kaidah konservasi tanah karena penduduk hanya memperhatikan agar lahan pertaniannya dapat menghasilkan semaksimal

mungkin. Semak belukar dan lahan pertanian umumnya belum dikelola dengan baik sehingga dapat dikategorikan tanpa tindakan konservasi. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, hanya sebagian kecil lahan yang sudah memperhatikan teknik konservasi pengendalian erosi seperti pembuatan teras konstruksi sederhana, penanaman pohon sejajar kontur dan penggunaan strip tanaman. Gambar 5 menunjukkan distribusi spasial faktor penutupan lahan dan pengelolaan tanaman pada tiga subdas yang berpengaruh membawa sedimen tererosi ke Waduk Kedungombo.



Gambar 5. Peta distribusi faktor penutupan lahan tahun 2001(kiri) dan RTRW (kanan)

Erosi tanah terutama dikontrol oleh penutupan lahan dan pengelolaan tanaman, sehingga menurunkan nilai potensi erosi dapat dilakukan dengan memperbaiki sistem pengelolaan yang memperhatikan kaidah-kaidah konservasi.

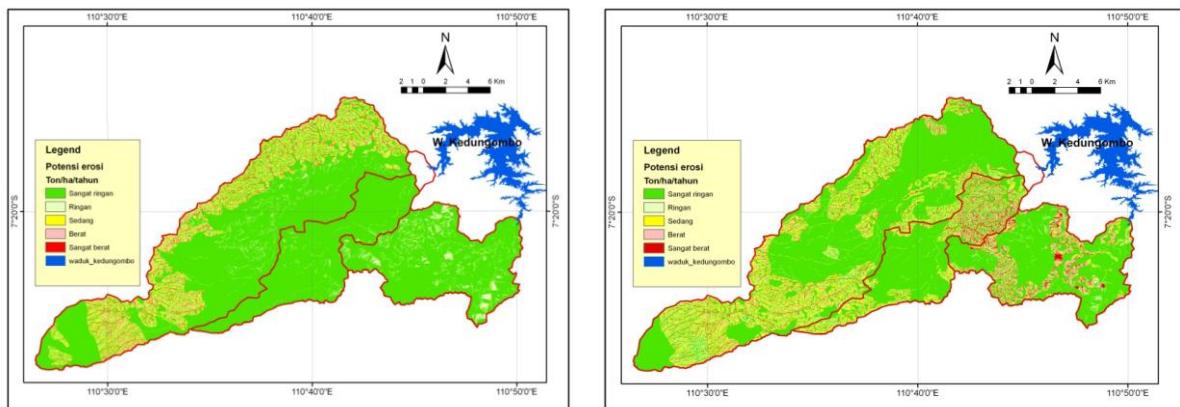
Erosi Potensial

Dari perhitungan masing-masing nilai faktor penduga erosi, diperoleh suatu nilai erosi potensial yang terjadi pada setiap subdas dengan berbagai kondisi penggunaan lahan, pengelolaan tanaman, sifat tanah dan topografi yang berbeda. Hasil perhitungan terutama dilakukan dengan membandingkan hasil potensi erosi pada tahun 2001 tanpa tindakan konservasi seperti yang umumnya terjadi di daerah kajian dan potensi erosi pada penggunaan lahan sesuai arahan RTRW. Nilai potensi erosi kemudian diklasifikasikan berdasarkan tingkat bahaya erosi dengan mengacu kepada Petunjuk pedoman penyusunan RTL-RLKT Departemen Kehutanan (1998). Hasil lengkap nilai potensi erosi dan tingkat bahaya erosi

berdasarkan metode USLE disajikan pada Tabel 6 sedangkan distribusinya pada Gambar 6.

Tabel 6. Luasan bahaya erosi di DAS Waduk Kedungombo

Kelas potensi erosi (t/ha/thn)	2001						RTRW					
	Serang		Laban Jengglong		Ombo		Serang		Laban Jengglong		Ombo	
	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%
0 - < 15 (Sangat ringan)	18,542.84	70.4	8,068.91	98.39	8,965.31	90.40	18,061.43	68.59	5,577.71	68.01	7,357.37	74.18
15 - < 60 (Ringan)	1,705.82	6.48	110.57	1.35	868.46	8.76	2,122.34	8.06	524.39	6.39	464.09	4.68
60 - < 180 (Sedang)	3,490.16	13.25	15.62	0.19	66.56	0.67	3,959.69	15.04	966.83	11.79	620.51	6.26
180 - < 480 (Tinggi)	1,971.14	7.49	3.47	0.04	15.44	0.16	1,620.95	6.16	795.38	9.70	1,032.44	10.41
≥ 480 (Sangat tinggi)	622.31	2.36	2.48	0.03	1.85	0.02	567.86	2.16	336.74	4.11	443.21	4.47
Jumlah	26,332.28	100	8,201.1	100	9,917.6	100	26,332.28	100	8,201.06	100	9,917.63	100



Gambar 6. Peta distribusi tingkat bahaya erosi penggunaan lahan 2001 (kiri) dan RTRW (kanan)

Berdasarkan Tabel 6, erosi di DAS Waduk Kedungombo didominasi kelas tingkat bahaya erosi sangat ringan baik pada tahun 2001 maupun sesuai RTRW. Luasan kelas bahaya erosi tinggi pada RTRW 2005-2010 cenderung meningkat dibandingkan dengan kondisi pada tahun 2001 karena arahan penggunaan lahan menjadi lahan pertanian yang berpotensi erosi tinggi, terutama pada lahan-lahan dengan kemiringan curam dan kondisi tanah yang peka terhadap erosi. Kondisi di daerah penelitian yang sebagian besar belum menerapkan teknik konservasi juga berpotensi besar meningkatkan erosi dan sedimentasi di Waduk Kedungombo. Dengan memperhatikan hal tersebut, maka di daerah penelitian harus segera

dilakukan upaya penanganan kerusakan lahan dan perbaikan teknik konservasi tanah dan air.

Hasil Sedimen

Metode MUSLE digunakan untuk menghitung hasil sedimen yang diperkirakan akan masuk ke waduk Kedungombo. Faktor erosivitas hujan yang digunakan pada perhitungan metode USLE diganti dengan faktor aliran (volume aliran dan debit puncak dalam suatu subdas) sehingga menghasilkan perkiraan nilai hasil sedimen dari masing-masing subdas.

Seperti halnya dengan perhitungan potensi erosi menggunakan USLE, pada perhitungan hasil sedimen dengan metode MUSLE juga dipengaruhi oleh faktor tutupan lahan. Tabel 7 menunjukkan perbandingan hasil sedimen pada masing-masing subdas pada tahun 2001 dan RTRW. Dapat terlihat bahwa pada tahun 2001 subdas Serang memberikan hasil sedimen yang paling besar dibandingkan subdas Laban Jengglong dan Ombo. Hal ini salah satunya karena faktor tutupan lahan, karena pada subdas Serang tutupan lahannya didominasi oleh perkebunan yang berpotensi menghasilkan sedimen lebih besar dibandingkan semak belukar dan sawah yang mendominasi subdas Laban Jengglong maupun Ombo. Sedangkan hasil sedimen pada RTRW, nilainya jauh lebih besar dibandingkan pada tahun 2001, karena sebagian besar lahan di hulu waduk Kedungombo diarahkan menjadi kawasan pertanian lahan kering yang berpotensi menghasilkan sedimen yang cukup besar karena erosi. Arahan perluasan kawasan pertanian di bagian hulu Waduk Kedungombo harus diimbangi dengan perencanaan sistem budidaya tanaman serta penerapan teknik konservasi yang sesuai, karena kehilangan produktivitas tanah akibat pengelolaan lahan yang kurang tepat akan berdampak secara nyata terhadap kualitas air di hilir dan deposisi sedimen yang dapat mengurangi kapasitas air waduk.

Nilai hasil sedimen tahunan menjadi dasar perbandingan antar DAS. Hasil sedimen secara langsung berhubungan dengan aliran. Selama musim kemarau dimana tidak terjadi aliran yang diproduksi pada saat kejadian hujan, maka hasil sedimennya adalah nol. Sebaliknya, kecepatan aliran yang tinggi bersama dengan kejadian intensitas hujan tinggi dapat membawa dan mengendapkan sedimen dalam jumlah besar.

Pengaruh aliran dapat terlihat pada perbandingan hasil sedimen tahun 2001 yang nilainya lebih kecil dibandingkan dengan RTRW pada masing-masing subdas. Hal ini karena faktor volume aliran pada kondisi sesuai RTRW yang mempunyai nilai paling besar dibandingkan dengan tahun 2001. Nilai bilangan kurva aliran permukaan (CN) yang menunjukkan nilai besarnya limpasan yang terjadi pada saat kejadian hujan secara langsung mempengaruhi besarnya nilai volume aliran dalam suatu das. Arahan penggunaan lahan RTRW yang sebagian besar merupakan kawasan pertanian lahan kering menjadi penyebab utama tingginya limpasan yang terjadi pada kondisi tersebut. Semakin besar limpasan maka semakin besar volume aliran yang membawa partikel sedimen ke outlet das dan menjadi penyebab terjadi sedimentasi di Waduk Kedungombo. Selain faktor aliran, faktor curah hujan juga mempengaruhi besarnya volume aliran dan debit puncak dalam subdas. Semakin besar curah hujan dan intensitasnya semakin besar pula volume alirannya. Jadi dapat dikatakan bahwa variabilitas nilai hasil sedimen merupakan penggambaran dari variabilitas faktor hujan dan aliran.

Tabel 7. Hasil sedimen pada masing-masing subdas pada tahun 2001 dan RTRW

Subdas	Q (m ³)		qp (m ³ /dtk)		Hasil sedimen (ton)	
	2001	RTRW	2001	RTRW	2001	RTRW
Serang	2,986,107.67	9,692,362.61	88.55	91.16	18,428.76	36,215.71
Laban Jengglong	773,868.92	3,806,161.81	37.19	30.91	106.44	15,611.29
Ombo	19,062,818.13	19,389,307.10	40.03	44.44	2,557.60	35,708.79

Monitoring secara berkala hasil sedimen diperlukan untuk mendapatkan catatan jangka panjang yang cukup untuk melihat akumulasi hasil sedimen dalam waduk serta untuk mengevaluasi hasil sedimen dalam hubungannya dengan pengelolaan lahan daerah hulu waduk. Data hasil sedimen memainkan peranan penting dalam simulasi model, kalibrasi dan validasi. Langkah selanjutnya variabilitas spasial hasil sedimen dapat digunakan untuk identifikasi upaya remediasi memiliki dampak terbesar dalam mengurangi erosi dan sedimentasi pada suatu subdas.

KESIMPULAN

1. Hasil prediksi potensi erosi dengan model USLE menunjukkan bahwa di hulu Waduk Kedungombo pada kondisi tutupan lahan 2001 dan RTRW masih didominasi kelas potensi erosi ringan (< 15 ton/ha/tahun). Pada tutupan lahan RTRW kelas potensi erosi tinggi (> 180 ton/ha/tahun) persentasenya lebih besar dibandingkan tutupan lahan tahun 2001 pada setiap subdas.
2. Hasil prediksi sedimen dengan model MUSLE di hulu Waduk Kedungombo menunjukkan bahwa hasil sedimen tutupan lahan RTRW lebih besar daripada tutupan lahan 2001. Di subdas Serang, pada tahun 2001 sebesar 18,428.76 ton dan 36,215.71 pada RTRW. Di subdas Laban Jengglong masing-masing 106.44 dan 15,611.29, sedangkan di subdas Ombo pada tahun 2001 sebesar 2,557.60 dan 35,708.79 pada kondisi tutupan lahan RTRW.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, Sitanala. 2006. *Konservasi Tanah dan Air*. Penerbit IPB Press. Bogor
- Baver, L.D. 1972. *Soil Physics*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Chow, V.T., ed. 1964. *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw Hill, New York.
- Moore I, Burch G. 1986. *Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation*. Soil Sci Soc Am J 50:1294–1298
- Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR, King KW. 2005. *SWAT theoretical documentation*. Soil and Water Research Laboratory: Grassland; 494, p. 234–235.
- Nuryantara, J.S. 1996. *Evaluasi Tingkat Bahaya Erosi Permukaan untuk Arah Konservasi Tanah di Daerah Tangkapan Hujan Waduk Kedungombo kecamatan Kemusu Kabupaten DATI II Boyolali Jawa Tengah*. Skripsi. Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta.
- Simons, D.B., and Senturk, F. (1992). *Sediment Transport Technology : Water and Sediment Dynamics*. WaterResources Publications. Colorado.
- Suripin. 2004. *Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air*. Penerbit ANDI. Yogyakarta.

Williams, J. R., 1975: *Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor*. Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources, ARS-S-40, US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 244-252

Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning*. US Dept. of Agricultural Handbook 537.

Soil Conservation Service. 1983. *Field investigations and surveys. In National Engineering Handbook, NEH-3*. USDA SCS, Washington DC.

CATATAN

1. Perlu penjelasan mengenai hasil sedimen apakah tahunan atau per kejadian hujan. Jika per kejadian perlu dijelaskan cara pemilihan data hujan yang digunakan dan penggunaan nilai CN harus mempertimbangkan kondisi *Antecedent Moisture Content (AMC)*
2. Terdapat perbedaan nilai koefisien aliran yang tercantum pada Tabel 3 dan Tabel 7.