

PEMBANGUNAN MODEL KERUANGAN UNTUK IDENTIFIKASI KAWASAN RAWAN EROSI DI WILAYAH PESISIR (STUDI KASUS: KABUPATEN KULON PROGO)
("Developing A Spatial Model for Identifying Erosion Risk Area in Coastal Area Case Study: Kulon Progo Regency")

Rakyan Paksi Nagara¹ dan Imam Buchori²

¹Mahasiswa Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
 email : r.paksi@gmail.com

Abstrak: Erosi dapat menyebabkan degradasi lingkungan yang merugikan antara lain penurunan kesuburan tanah yang dapat mengurangi produktifitas, bencana kekeringan dan tanah longsor dan kekeringan. Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh BPBD Kabupaten Kulon Progo, seluas 26.093,395 ha atau 45,48% merupakan kawasan rawan kekeringan dan terdapat lebih dari 306 kk yang mengalami kasus kekeringan pada tahun 2012. Sedangkan untuk bencana tanah longsor, seluas 15.726,40 ha atau 27,40% merupakan kawasan rawan longsor dan terjadi 166 kali kasus tanah longsor pada tahun 2012. Dengan adanya latar belakang tersebut, maka studi ini akan membuat mitigasi bencana yang dapat memprediksi persebaran kawasan rawan erosi dengan menggunakan pemodelan. Model yang dikembangkan adalah model matematis RUSLE yang dibuat ke dalam bentuk spasial, dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis. Model tersebut menghasilkan nilai laju erosi pada Kabupaten Kulon Progo adalah 0,456-200,825 ton/ha/tahun. Nilai tersebut terbagi menjadi empat tingkat kerawanan yaitu sangat ringan, ringan, sedang, dan berat. Seluas 36.784,804 ha atau 64,11% merupakan kawasan dengan tingkat erosi ringan dan seluas 1,440 atau 0,0025% merupakan kawasan dengan tingkat erosi berat. Kemudian dilakukan validasi model melalui survey lapangan, dengan hasil kevalidan 89,47%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa permodelan cukup baik dalam menghitung besarnya laju erosi secara spasial. Untuk pengembangan kedepannya perlu adanya updating data seperti data penggunaan lahan yang sifatnya dinamis. Selain itu, penggunaan data DEM dengan perkembangan teknologi yang baru memiliki tingkat resolusi lebih tajam dapat menunjukkan data kelerengan yang lebih detail untuk kedepannya.

Kata Kunci : mitigasi bencana, erosi, SIG

Abstrac: Erosion cause environmental degradation which adverse including reduced soil fertility that can reduce productivity, drought and landslides that can lead to serious problems. Based on a study conducted by BPBDs Kulon Progo, covering 26093.395 ha or 45.48% is an area prone to the drought and there are more than 306 cases in 2012. And covering 15.726,40 ha or 27,40% is an area prone to the landslide and there are more than 306 cases in 2012. Given this background, this study will make the mitigation of the disaster that can predict the spread of erosion-prone areas, one of them by using modeling. The model is a RUSLE mathematical model developed into a spatial form, using Geographic Information Systems. The model produces erosion rates on the value of Kulon Progo is 0.456 to 200.825 tonnes / ha / year. This number is divided into four levels of vulnerability that is very mild, mild, moderate, and severe. Covering an area of 36784.804 ha or 64.11% is an area with mild erosion rate and 1.440 or 0.0025% is an area with severe erosion rate. Then do the validation of the model through surveys, the validity of the results is 89.47%. These results indicate that the modeling is quite good in calculating the rate of erosion spatially. For the future development needs the updating data such as land use data that are dynamic. In addition, the use of DEM data with new technological developments that have a level of resolution, can show more details of the data terrain for the future.

Kata Kunci : hazard mitigation, erosion, GIS

PENDAHULUAN

Salah satu bagian dari lingkungan yang amat penting dan banyak digunakan oleh manusia adalah tanah. Kehidupan manusia tidak akan pernah bisa lepas dari tanah. Tanah merupakan salah satu lapisan permukaan bumi yang paling banyak dijumpai. Bangunan seperti gedung, rumah, jalan, jembatan didirikan diatas lahan atau bidang permukaan tanah. Selain itu, tanah juga merupakan tempat hidup tumbuhan serta hewan. Tumbuhan merupakan sumber bahan makanan utama manusia, yang dibudidayakan dengan media tanah.

Adanya hujan dan angin dapat menyebabkan pengikisan tanah. Hujan dan angin merupakan peristiwa alam yang tidak dapat dihindari maupun dicegah, sehingga erosi tanah secara alami tidak dapat dihindari. Erosi yang disebabkan oleh alam tidaklah berbahaya karena memiliki laju yang rendah dan seimbang dengan pembentukan tanah. Namun kejadian erosi tidak selamanya disebabkan oleh kejadian alam. Perubahan penggunaan lahan dalam sebagai bentuk aktifitas manusia tidak dapat digolongkan sebagai kejadian alam. Keberagaman bentuk dari penggunaan lahan akan menghasilkan pola penutupan lahan atau *land coverage* yang beragam pula. Keberadaan manusia, baik disadari maupun tidak, telah meningkatkan laju erosi. Erosi ini dikenal dengan erosi dipercepat atau *accelerated erosion* (Supli, 2000).

Proses laju erosi dan persebarannya dapat digambarkan dalam sebuah model. Model merupakan duplikasi dari kondisi nyata untuk memudahkan kita dalam melakukan analisis spasial. Penerapan model dilakukan untuk memperagakan laju erosi yang terjadi dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Dengan adanya model tersebut, kita dapat mengitung serta menunjukkan secara visual tentang kondisi spasial masing-masing variabel menyusun dan besarnya laju beserta persebaran erosi. Sedangkan Kabupaten Kulon Progo merupakan lokasi studi yang digunakan untuk penyusunan model tersebut karena

sebagai daerah pesisir yang memiliki curah hujan, topografi dan penggunaan lahan yang beragam.

METODE PENELITIAN

1. Tahapan Analisis

Tahapan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Identifikasi faktor alam sebagai variabel penyebab erosi.
- Pembangunan model dengan menggunakan SIG.
- Validasi lapangan atau *groundcheck*.

2. Teknik Analisis

a. RUSLE

Revised Universal Soil-Loss Equation (RUSLE) merupakan pengembangan dari rumus Wischmeier dan Smith. Berikut adalah rumus matematis RUSLE:

$$A = R \times K \times L_s \times P \times C$$

A = Erosi tanah tahunan (ton/ha/tahun)

R = Erosivitas tanah

K = Erodibilitas (kepekaan) tanah

L_s = Faktor panjang dan kemiringan lereng

P = Tindakan konservasi

C = Faktor pengelolaan tanaman

b. *Spatial Analyst*

Spatial analyst merupakan bagian dari fitur yang terdapat dalam ArcGIS. Bentuk data yang dapat diolah dalam *spatial analyst* dapat berbentuk vektor maupun raster. Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah dalam bentuk raster karena lebih tepat dalam permodelan matematis.

▪ Penggunaan *Raster Dataset*

Data raster permukaan bumi dibagi menjadi sel dan terdiri dari *grid*, adapun ketentuan dalam bentuk raster, yaitu: ditentukan nomor baris dan kolom yang ditempati oleh piksel; nilai dari setiap piksel menunjukkan resolusi spasial dari data raster sesuai dengan tipe obyek atau kondisi pada lokasi.

▪ *Geoprocessing*

Geoprocessing merupakan suatu metode analisis permukaan bumi guna memecahkan berbagai masalah geografis sesuai kondisi

nyata. Salah satu bagian dari *geoprocessing* adalah *overlay analyst*, yang merupakan kegiatan penggabungan dua atau lebih data yang memiliki referensi geografis untuk mengetahui informasi baru.

- *Reclassify*
Reklasifikasi dapat menyediakan berbagai metode untuk mengatur nilai, kelompok nilai, maupun berbagai bentang data.

3. Data Penelitian

- a. Peta Curah Hujan
Hujan merupakan faktor utama penyebab erosi. Intensitas curah hujan menentukan besarnya erosi yang terjadi.
- b. Peta Kelerengan
Kelerengan menunjukkan topografi kawasan. Tingkat kelerengan

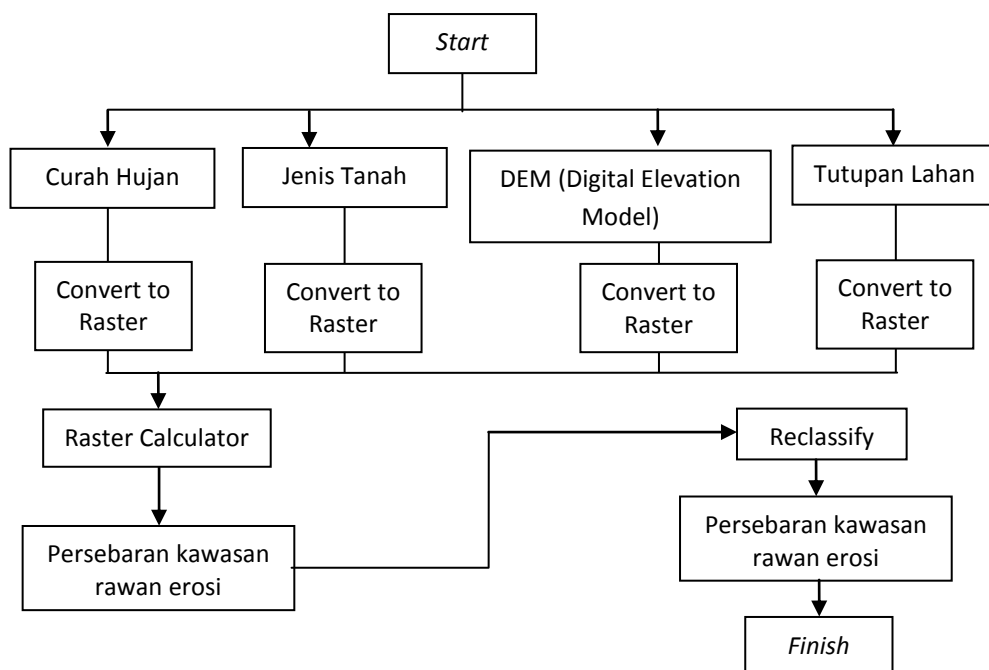
mempengaruhi kecepatan *run-off* air yang dapat mengikis tanah.

- c. Peta Jenis Tanah
Tiap jenis tanah memiliki kemampuan infiltrasi air hujan yang berbeda.
- d. Peta Tutupan Lahan
Tutupan lahan merupakan faktor buatan atau dampak dari penggunaan lahan oleh manusia. Masing-masing penggunaan lahan memiliki perbedaan kemampuan dalam menahan laju erosi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Model

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, studi ini menggunakan rumus matematis RUSLE. Rumus RUSLE diaplikasikan menggunakan SIG, sehingga membentuk suatu model spasial perhitungan persebaran kawasan rawan erosi.



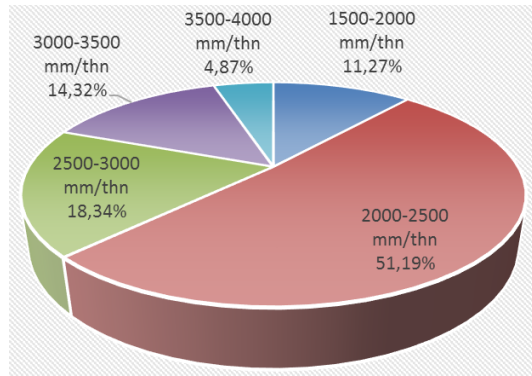
Sumber: Analisis penulis, 2013

GAMBAR 1
TAHAPAN MODEL EROSI

2. Generalisasi Data

- a. Curah Hujan
Intensitas hujan di Kabupaten Kulon Progo adalah 1.500-4.000 mm/tahun.

Terdapat lima kelas pembagian zona curah hujan. Untuk lebih jelasnya mengenai zona curah hujan dapat dilihat pada Gambar 2.

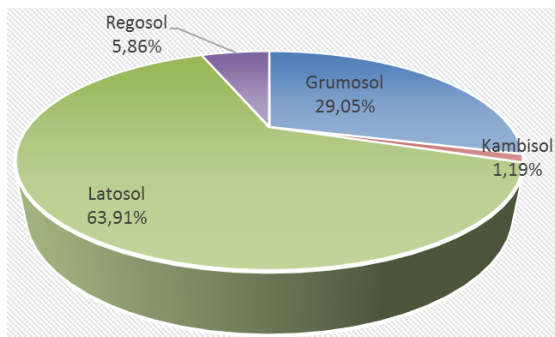


Sumber: BAPPEDA Kab. Kulon Progo, 2011

GAMBAR 2
DIAGRAM PERSENTASE CURAH HUJAN

b. Jenis Tanah

Jenis tanah pada Kulon Progo antara latosol, grumosol, kambisol, latosol, dan regosol. Distribusi jenis tanah di Kabupaten Kulon Progo tidak merata. Jenis tanah yang mendominasi adalah latosol, sebesar 63,91% dari luas total. Kemudian jenis tanah grumosol sebesar 29,05%. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.

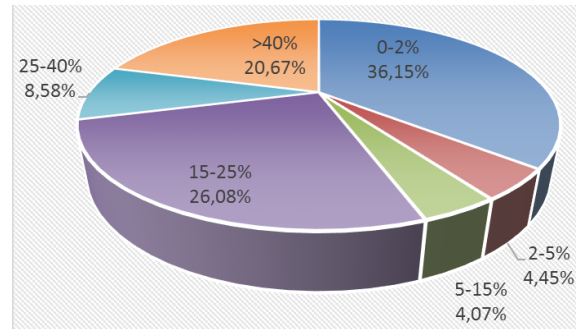


Sumber: BAPPEDA Kab. Kulon Progo, 2011

GAMBAR 3
DIAGRAM PERSENTASE JENIS TANAH

c. Kelerengan

Kulon Progo didominasi oleh morfologi dataran landai dengan kelerengan 0-2%, yang luasnya 36,15% dari luas total kabupaten. Kemudian banyak juga dijumpai morfologi perbukitan sedang dengan kelerengan 15-25% sebesar 26,08% dari luas wilayah. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Sumber: BAPPEDA Kab. Kulon Progo, 2011

GAMBAR 4
DIAGRAM PERSENTASE KELERENGAN

d. Tutupan Lahan

Terdapat empat guna lahan yang mendominasi Kabupaten Kulon Progo, antara lain kebun, permukiman, tegalan, dan sawah. Kebun merupakan guna lahan yang paling banyak dijumpai di Kabupaten Kulon Progo dengan luas 49,11% dari luas total. Sedangkan permukiman banyak tersebar di seluruh kecamatan, namun paling banyak ditemui di Kecamatan Wates sebagai ibukota kabupaten.

3. Aplikasi

• Faktor R (Erosivitas Hujan)

Dari data rata-rata curah hujan yang ada, akan dicari masing-masing nilai R (erosivitas hujan). Nilai erosivitas hujan diperoleh dari rumus matematis yang dikembangkan oleh Lenvai (DHV, 1989). Rumus yang dikembangkan Lenvain adalah sebagai berikut:

$$R = 2,21P^{1,36}$$

R : indeks erosivitas

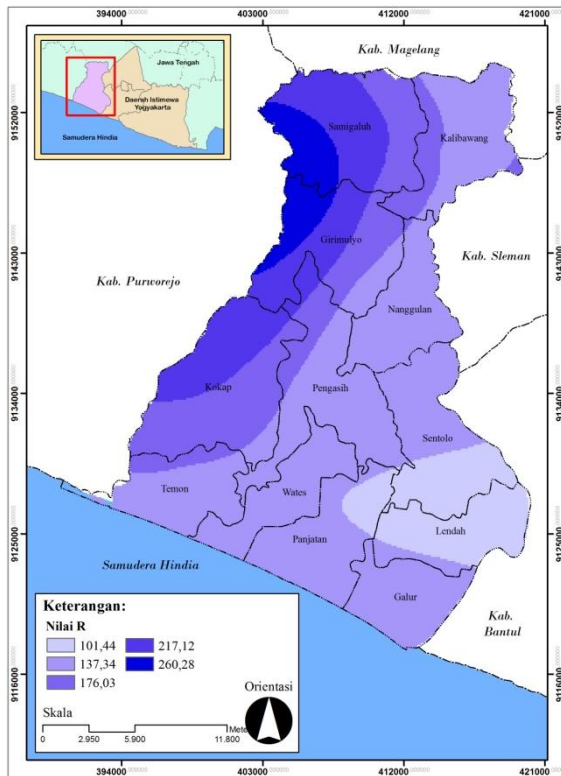
P : curah hujan bulanan (cm/bulan)

TABEL 1

NILAI EROSIVITAS HUJAN

Curah Hujan	Nilai R
2.000 mm/th	101,34
2.500 mm/th	137,34
3.000 mm/th	176,03
3.500 mm/th	217,12
4.000 mm/th	260,28

Sumber: BAPPEDA Kab. Kulon Progo dan Lenvain, 1989 dalam Asdak, 2002



Sumber: BAPPEDA Kab. Kulon Progo, 2011

GAMBAR 5
PETA PERSEBARAN NILAI R

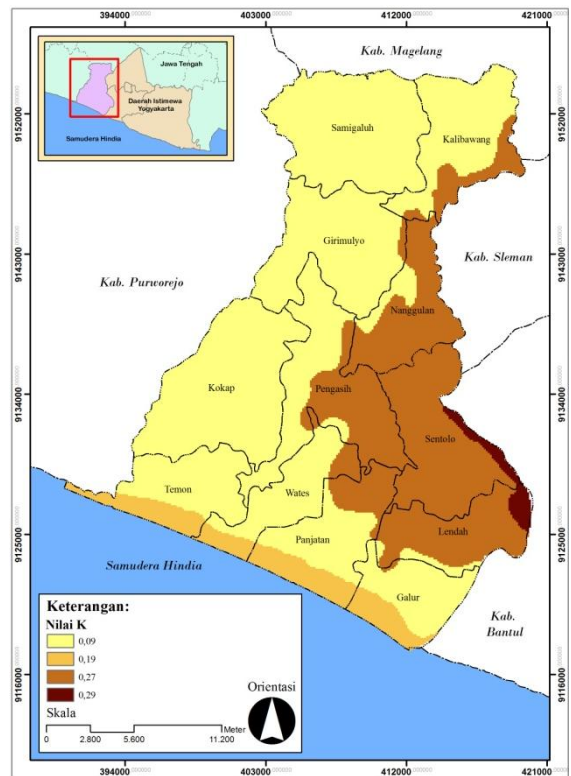
• **Faktor K (Erodibilitas Tanah)**

Dalam penelitian ini perhitungan nilai K menggunakan tabel rata-rata nilai erodibilitas tanah. Secara berurutan dari tanah yang kurang peka ke yang paling peka terhadap erosi adalah latosol, regosol, grumosol, dan kambisol. Untuk grumosol dan kambisol memiliki nilai K yang hampir sama.

TABEL 2
NILAI ERODIBILITAS TANAH

Jenis Tanah	Erodibilitas Tanah		Kelas
	Kisaran	Rata-rata	
Haplorthox (Latosol)	0,08-0,09	0,09	Sangat rendah
Fluvent (Regosol)	0,17-0,21	0,19	Rendah
Chromudert (Grumosol)	0,24-0,30	0,27	Sedang
Eutrudept (Kambisol)	0,20-0,38	0,29	Sedang

Sumber: BAPPEDA Kab. Kulon Progo dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, 2004



Sumber: BAPPEDA Kab. Kulon Progo, 2011

GAMBAR 6
PETA PERSEBARAN NILAI K

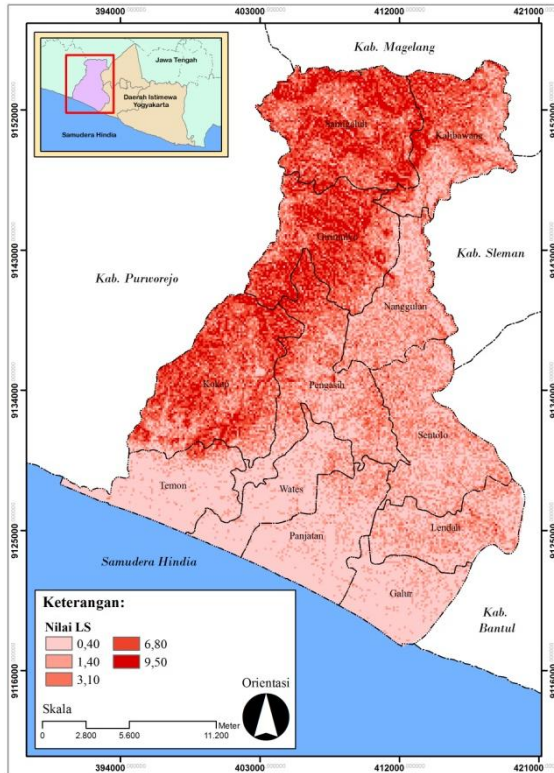
• **Faktor Ls (Panjang dan Kemiringan Lereng)**

Data yang digunakan adalah DEM (*Digital Elevation Modeling*). DEM yang digunakan adalah DEM yang berasal dari ASTERGETDEM, yang memiliki ketepatan interval ketinggian hingga 40 meter. Data DEM kemudian diolah dengan menggunakan *Spatial Analyst* untuk mendapatkan kelereng (*slope*) yang terdapat pada setiap piksel gambarnya. Nilai LS didapat dari beberapa penelitian sebelumnya.

TABEL 3
NILAI PANJANG DAN KEMIRINGAN LERENG

Kelas Lereng	Kemiringan Lereng	Nilai LS
I	0-8 %	0,40
II	8-15 %	1,40
III	15-25 %	3,10
IV	25-40 %	6,80
V	>40 %	9,50

Sumber: BAPPEDA Kab. Kulon Progo dan Kironoto, 2003 dalam Sutapa 2010



Sumber: BAPPEDA Kab. Kulon Progo, 2011

GAMBAR 7
PETA PERSEBARAN NILAI LS

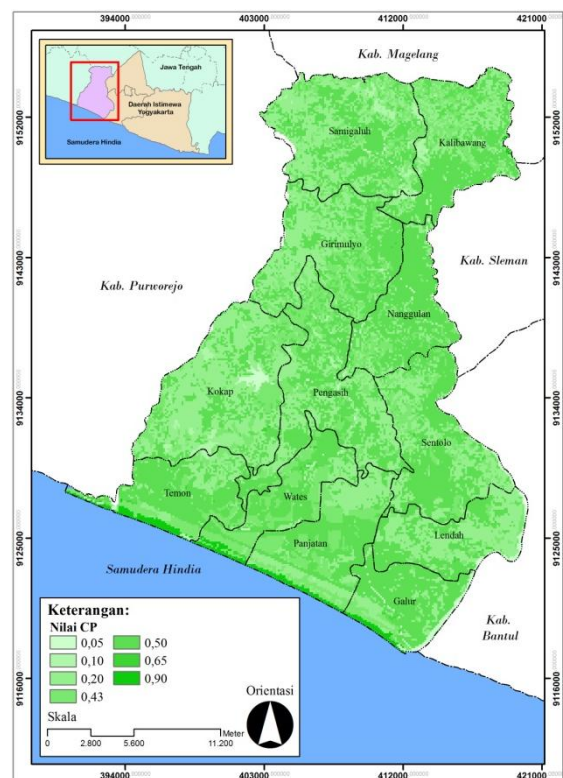
• **Faktor CP (Pengelolaan Tanaman dan Konservasi Tanah)**

Terdapat delapan penggolongan tutupan lahan, yaitu waduk dan sungai tergabung dalam tubuh air, semak/belukar, kebun, tegalan, permukiman tergolong lahan terbangun, sawah, rumput, serta pasir darat maupun pasir pantai adalah lahan terbuka tanpa vegetasi. Nilai CP didapat dari perhitungan nilai pada penelitian sebelumnya. Nilai CP terendah adalah tubuh air, karena curah hujan tidak bertemu dengan permukaan tanah. Sedangkan nilai CP tertinggi adalah lahan terbuka berupa pasir yang banyak terdapat di sekitar pantai. Tutupan lahan tersebut tentu saja peka akan erosi karena tanah sangat minim atau bahkan tidak terdapat vegetasi sama sekali. Air hujan akan bertemu dengan tanah secara langsung. Nilai CP pada Kulon Progo dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

TABEL 4
NILAI PENGELOLAAN DAN KONSERVASI TANAH

Kemiringan Lereng	Nilai CP
Tubuh air	0,05
Semak/belukar	0,10
Kebun	0,20
Tegalan	0,43
Permukiman	0,50
Sawah	0,50
Rumput	0,65
Lahan terbuka	0,90

Sumber: BAPPEDA Kab. Kulon Progo dan (Kironoto, 2003) dalam Sutapa, 2010



Sumber: BAPPEDA Kab. Kulon Progo, 2011

GAMBAR 8
PETA PERSEBARAN NILAI CP

• **Daerah Rawan Erosi**

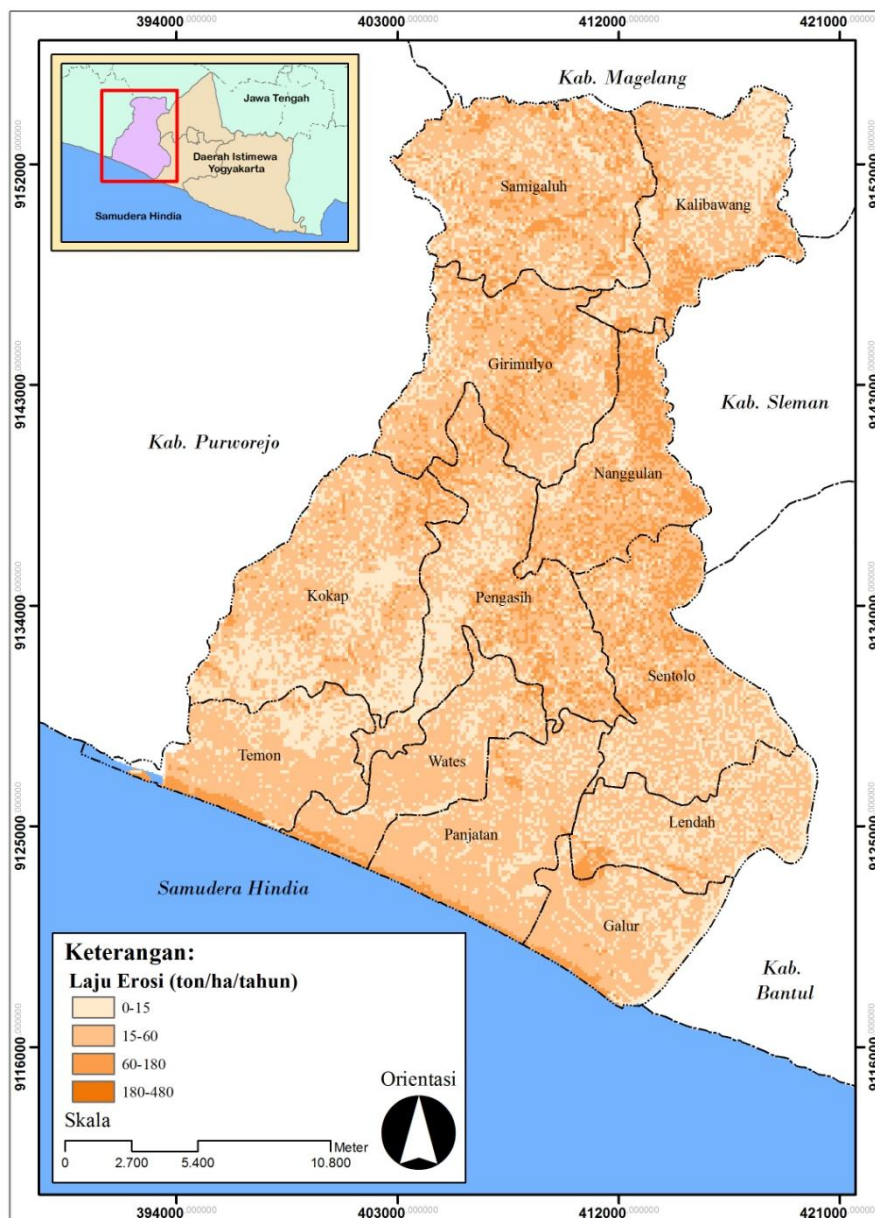
Berdasarkan hasil perhitungan model RUSLE, besarnya laju erosi yang terendah adalah 0,456 ton/ha/tahun, sedangkan yang tertinggi adalah 200,825 ton/ha/tahun. Untuk mengetahui kelas tingkat bahaya erosi, maka digunakan pembagian kelas erosi yang dibuat oleh Kementerian Kehutanan.

TABEL 5
KLASIFIKASI TINGKAT BAHAYA EROSI

Kelas	Kehilangan Tanah	Tingkat
I	<15 ton/ha/tahun	Sangat ringan
II	15-60 ton/ha/tahun	Ringan
III	60-180 ton/ha/tahun	Sedang
IV	180-480 ton/ha/tahun	Berat
V	>480 ton/ha/tahun	Sangat berat

Sumber: Kementerian Kehutanan, 2008

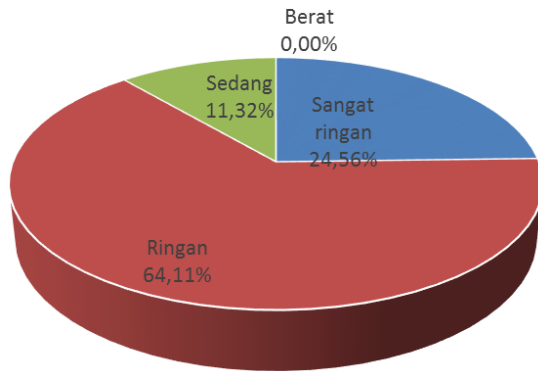
Tingkat bahaya erosi yang terdapat pada Kabupaten Kulon Progo mulai dari sangat ringan, dengan besarnya kehilangan tanah <15 ton/ha/tahun hingga berat, dengan besarnya kehilangan tanah 180-480 ton/ha/tahun. Kabupaten Kulon Progo tidak memiliki daerah dengan tingkat erosi yang sangat berat. Artinya ancaman bencana erosi belum begitu serius.



Sumber: Analisis Penulis, 2013

GAMBAR 9
PETA PERSEBARAN KAWASAN RAWAN EROSI

Persentase hasil pemodelan erosi dapat dilihat pada diagram berikut ini:



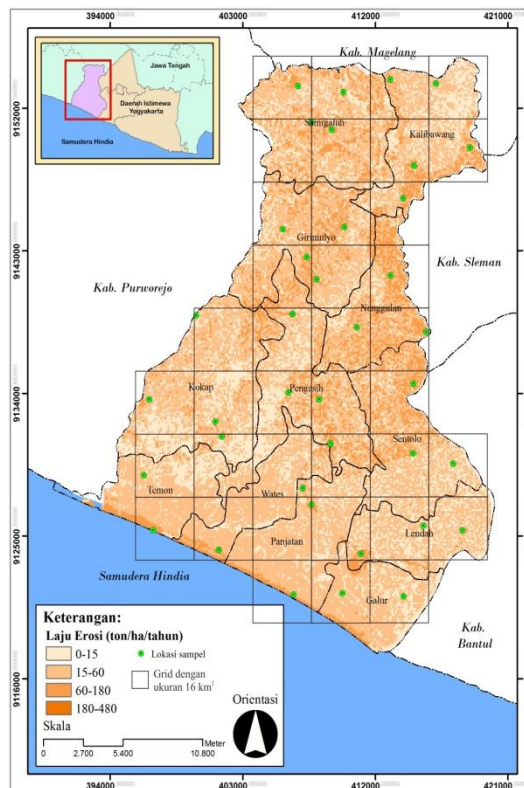
Sumber: Analisis Penulis, 2013

GAMBAR 10
DIAGRAM PERSENTASE KAWASAN RAWAN EROSI

4. Validasi

Untuk menguji apakah model dapat merepresentasikan kondisi nyata diperlukan uji validasi. Dalam

permodelan ini, uji validasi dilakukan dengan cara *spatial sampling*, melalui observasi lapangan (*groundcheck*). Penentuan jumlah sampel yang dilakukan adalah dengan asumsi, dimana dalam model ini akan dibuat grid dengan luas ± 16 km². Luas ± 16 km² diasumsikan masih memiliki karakteristik fisik sesuai variabel model yang sama. Dengan demikian seluruh Kabupaten Kulon Progo terdapat 38 titik sampel yang tersebar secara merata. Dari hasil observasi lapangan pada masing-masing *grid*, terdapat 4 titik yang karakter fisiknya tidak sesuai dengan permodelan. Ketidaksamaan keempat titik tersebut terjadi pada variabel jenis tanah, dimana pada permodelan seharusnya terdapat jenis tanah grumosol, tetapi tidak pada lapangan. Adanya ketidakvalidan tersebut maka tingkat kevalidan model yang dibangun ini adalah 89,47%.



Sumber: Analisis Penulis, 2013

GAMBAR 11
PETA VALIDASI LAPANGAN

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

1. Kesimpulan

Dari rangkaian proses pembangunan model yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Model yang dibangun ini dapat diterapkan untuk identifikasi kawasan erosi di daerah pesisir. Dari variabel yang digunakan, yaitu curah hujan, jenis tanah, kelerengan, dan penggunaan lahan dapat dilakukan perhitungan berdasarkan rumus RUSLE sehingga menghasilkan laju erosi dan persebarannya.
- Dari proses validasi yang dilakukan dapat membuktikan bahwa model mampu menggambarkan kondisi lapangan dengan baik. Validasi dilakukan dengan *groudcheck* secara *sampling* sebanyak 38 titik yang tiap titiknya mewakili 16 km². Dari 38 titik terdapat 4 titik yang tidak sesuai antara variabel pada data atau peta dengan kondisi lapangan, sehingga tingkat kevalidan model adalah 89,47%. Angka ini cukup tinggi sehingga model telah mampu menggambarkan kondisi lapangan dengan baik.
- Variabel tutupan lahan memberi pengaruh yang cukup besar terhadap keberadaan kawasan rawan erosi. Pada beberapa daerah yang memiliki kelerengan yang curam, lokasi rawan erosi berada pada permukiman. Pada daerah yang landai, lokasi rawan erosi berada pada permukiman dan persawahan. Permukiman merupakan lahan terbangun dengan dimana air tidak dapat meresap masuk ke dalam tanah. Kondisi ini menyebabkan *run-off* air bertambah dan mengakibatkan erosi pada lokasi lain. Sedangkan persawahan terdiri dari tanaman sejenis rerumputan yang tidak rapat, sehingga air hujan dengan mudah dapat menyentuh permukaan tanah secara langsung.
- Jika dibandingkan dengan permodelan erosi sebelumnya yang

dilakukan oleh Pascal Dumas dkk, terdapat beberapa perbedaan. Perbedaan terletak pada variabel tutupan lahan berupa lahan terbangun, dalam bentuk permukiman yang sudah diperhitungkan pada permodelan ini. Sedangkan pada permodelan sebelumnya belum mempertimbangkan lahan terbangun. Padahal hasil permodelan menunjukkan pengaruh lahan terbangun cukup signifikan. Dimana pada validasi lapangan, banyak kawasan rawan erosi bentuk penggunaan lahannya berupa permukiman maupun lahan terbangun.

2. Rekomendasi

Ada beberapa kekurangan yang sekaligus menjadi keterbatasan dalam pembangunan model ini. Keterbatasan tenaga, waktu, biaya, dan teknologi tentunya menjadi hambatan dalam mencapai kesempurnaan sebuah model. Berikut adalah rekomendasi yang dapat diberikan untuk menyempurnakan model:

- Penerapan model
Pada dasarnya model bersifat *universall* dan dinamis, artinya bersifat umum dan dapat diterapkan pada beberapa daerah dengan penyesuaian data. Dengan kata lain model perhitungan ini dapat diterapkan pada kabupaten atau kota lain dengan penyesuaian data variabel yang bersifat dinamis.
- Cek validasi data
Model yang dibangun menggunakan data sekunder yang bersumber pada beberapa instansi penyedia data. Ketidakakuratan peta yang menjadi sumber data menyebabkan hasil permodelan yang kurang baik. Oleh karena itu, tinjauan terhadap keakuratan perlu dilakukan.
- *Updating* data
Keakuratan tersebut juga berhubungan dengan sifat data penggunaan lahan yang dinamis. Oleh karena itu perlu adanya *updating* data secara berkala.

- Penggunaan teknologi baru
Selain itu, rekomendasi untuk pengembangan penelitian kedepan adalah penggunaan data DEM dengan teknologi yang baru untuk menghasilkan data kelerengan lebih akurat. Sehingga hasil pemodelan erosi dapat menggambarkan kondisi nyata dengan lebih baik lagi.
- Pengembangan batasan model
Batasan dalam pemodelan ini adalah menghitung laju dan persebarannya. Pada studi ini pemodelan belum sampai pada penentuan arah erosi dan prediksi lokasi sedimentasi. Sedimentasi merupakan dampak dari terjadinya erosi dimana sedimentasi dapat menyebabkan timbunan tanah, longsor, kerusakan pada dam sungai, pendangkalan sungai, hingga banjir. Rekomendasi untuk pengembangan penelitian kedepan diharapkan dapat menentukan arah laju erosi dan prediksi lokasi sedimentasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Barlett, Darius and Jennifer Smith. 2005. *GIS for Coastal Zone Management*. USA: CRC Press.
- Brimicombe, Allain. 2003. *GIS Environmental Modelling and Engineering*. Florida: Punta Gorda.
- C. Pine, John. 2009. *Natural Hazard Analysis, Reducing The Impact of Disaster*. USA: CRC Press.
- Dumas, Pascal and Julia Printemps. 2010. "Assessment Of Soil Erosion Using Usle Model And Gis For Integrated Watershed And Coastal Zone Management In The South Pacific Islands". *Elsavie*. Vol. 99, pp. 239-254.
- Dumas, Pascal et al. 2010. "Developing Erosion Models For Integrated Coastal Zone Management: A Case Study Of The New Caledonia West Coast". *Elsavie*. Vol. 61 pp. 519-529.
- Effendi Rahim, Supli. 2000. *Pengendalian Erosi Tanah: Dalam Rangka Pelestarian Lingkungan Hidup*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Hardjowigeno, Sarwo. 2010. *Ilmu Tanah*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2008. Diakses pada 10 Januari 2013.
- Li, Jonathan et al. 2007. *Geomatics Solutions for Disaster Management*. Germany: Springer.
- Prahasta, Eddy. 2002. *Konsep-Konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Bandung: Informatika.
- _____. 2005. *Konsep-Konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Bandung: Informatika.
- _____. 2009. *Sistem Informasi Geografis Konsep-konsep Dasar (Perspektif Geodesi dan Geomatika)*. Bandung: Informatika.
- R. Dymond et al. 2010. "An Erosion Model for Evaluating Regional Land-use Scenarios". *Elsavie*. Vol 25, pp. 289-298.
- Purwantara, Suhadi, dkk. 2012. *Analisis Potensi Erosi Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Alam Dan Pembangunan Berkelanjutan Di Kecamatan Kokap*.
- S. Jones, David, David G. Kowalski, Robert B. Shaw. 1996. *Calculating Calculating Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Estimates on Department of Defense Lands: A Review of RUSLE Factors and U.S. Army Land Condition-Trend Analysis (LCTA) Data Gaps*.
- S. Showalter, Pamela and Yongmei Lu (Eds.). 2010. *Geospatial Techniques in Urban Hazard and Disaster Analysis*. New York: Springer.
- Simms, A. D., C. D. Woodrofee, dan B. G. Jones. 2003. *Application Of RUSLE For Erosion Management In A Coastal Catchment, Southern NSW*. University of Wollongong: Research Online.
- Wordofa, Gossa. 2011. *Soil Erosion Modeling Using GIS and Rusle on The Eurajoki Watershed Finland*. Tampere University.