

Analisis Laju Sedimen DAS Serayu Hulu dengan Menggunakan Model SWAT

Nugroho Christanto^{1,3}, M Angri Setiawan^{1,3}, Afid Nurkholis¹, Saidah Istiqomah¹,
Junun Sartohadi^{2,3}, M Pramono Hadi¹

Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia¹

Faculty of Agriculture, Universitas Gadjah Mada, Indonesia²

Laboratorium Trasnbulent, Universitas Gadjah Mada, Indonesia³

Email Koresponden: n.christanto@ugm.ac.id

Diterima: Januari 2018 /Disetujui: Februari 2018 / Publikasi online: Maret 2018
© 2018 Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

Abstract Wilayah DAS Serayu Hulu merupakan DAS prioritas yang memerlukan langkah pengelolaan yang komprehensif. Aplikasi model Soil and Water Assessment Tool (SWAT) dapat digunakan sebagai media untuk perencanaan konservasi ataupun evaluasi respon DAS (debit aliran permukaan, sedimen dan pencemaran sungai). Tujuan utama dari penelitian ini adalah menjalankan model SWAT di DAS Serayu Hulu untuk mengetahui laju sedimen di wilayah ini. Pemodelan SWAT membutuhkan sejumlah input parameter berupa relief, tanah, tutupan lahan dan pengelolaan lahan. Pedogeomorfologi digunakan sebagai batas satuan tanah karena tidak tersedianya peta tanah di wilayah penelitian. Hasil Penerapan model SWAT di DAS Serayu Hulu menghasilkan nilai yang cukup memuaskan, hal ini ditunjukkan nilai R² mencapai 0,94. Hasil pemodelan SWAT dengan menggunakan data selama 10 tahun (2004-2013) menunjukkan bahwa DAS Serayu Hulu memiliki rerata hasil sedimen sebesar 1.926.900 ton/tahun. Sub DAS 8,9, 11, 17, 18, dan 19 merupakan penghasil sedimen tertinggi di DAS Serayu Hulu dengan hasil sedimen 43.931- 121.434 ton/ha/tahun.

Kata kunci : Serayu Hulu, Hasil Sedimen, Pemodelan, SWAT

Abstrak Serayu Upper Catchment is one of the priority catchments due to soil erosion and sedimentation. It needs a comprehensive approach to deal with those problems. SWAT Model can be used as a comprehensive tool to assess Serayu Upper Catchment (runoff and sediment yield) and its conservation plan. The objective of this paper is to assess the ability of SWAT Model to estimate the sediment yield in Serayu Upper Catchment. DEM and Slope data, soil map, land use and land management is needed to perform the model. Due to unavailability of soil map, geopedology approach is used to map the soil boundary. Based on geomorphology, the soils were mapped. The model shows that the R² was 0,94. Based on the 10 years running model, we found that the average sediment yield in Serayu Upper Catchment were 1.926.900 ton/year. The highest sediment contributor were sub catchment number 8,9,11,17,18 and 19 (43.931- 121.434 ton/ha/year)

Key words: Upper Serayu, Sediment Yield, Modeling, SWAT

PENDAHULUAN

Kebijakan pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) di Indonesia semakin terarah dengan adanya Peraturan Pemerintah No. 37 tahun 2012 tentang Pengelolaan DAS (Peraturan Pemerintah RINo.37,2012). Peraturan ini ditujukan untuk mengkoordinasikan, mengintegrasikan, dan mensinergikan pengelolaan DAS dalam rangka meningkatkan Daya Dukung DAS. Tahapan pengelolaan DAS yang diatur dalam Peraturan Pemerintah ini meliputi perencanaan, pelaksanaan, monitoring dan evaluasi serta pengawasan dan pembinaan. Permasalahan yang muncul kemudian adalah kurang lengkapnya ketersediaan data dasar untuk perencanaan DAS. Data-data seperti debit aliran, laju sedimentasi, laju erosi, dan curah hujan diperlukan dalam penentuan klasifikasi DAS yang merupakan

bagian dari perencanaan DAS. Selain itu, banyaknya DAS besar di Indonesia menjadikan perencanaan membutuhkan biaya dan tenaga yang besar.

SWAT (Soil and Water Assesment Tools) merupakan *physically based model* yang dapat digunakan untuk mengevaluasi dan membuat prediksi pada berbagai ukuran DAS (Neitsch, Arnold, Kiniry, & Williams, 2011). Model ini dikembangkan di USDA (United States Department of Agriculture) untuk memprediksi pengaruh pengambilan keputusan terhadap karakteristik hidrologi, hasil sedimen, unsur hara, dan polusi pada suatu DAS. Selain itu, SWAT dapat menganalisis DAS secara spasial, yaitu berupa Sub DAS atau HRU (Hydrologic Response Unit).

Model SWAT mempunyai beberapa keunggulan, yaitu: 1) dibangun berdasarkan proses yang terjadi

dengan menghimpun informasi mengenai iklim, sifat tanah, topografi, tanaman dan pengelolaan lahan yang terdapat dalam DAS, 2) input data yang relatif mudah tersedia (Ferijal, 2013; Polanco, Fleifle, Ludwig, & Disse, 2017), 3) dapat dikerjakan secara efisien menggunakan komputer sehingga hemat waktu dan biaya serta (Liu, Wang, Xu, Men, & Guo, 2017; Sun, Nistor, & Seidou, 2015) 4) memungkinkan pengguna untuk mengevaluasi dampak jangka panjang dalam suatu DAS (Patil & Ramsankaran, 2017; Senent-Aparicio, Pérez-Sánchez, Carrillo-García, & Soto, 2017).

DAS Serayu Hulu terletak di Kabupaten Wonosobo dan Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah. Tekanan terhadap DAS Serayu Hulu sangat besar terutama oleh sektor pertanian. Perubahan penggunaan lahan dan pengelolaan lahan memicu adanya erosi tanah yang dipercepat (Setiawan, Stoetter, Sartohadi, & Christanto, 2009). Selain itu, tekanan lahan tersebut juga menyebabkan bencana alam terkait kerusakan lingkungan DAS seperti banjir dan tanah longsor (Christanto et al., 2009, 2017; Christanto, Shrestha, Jetten, & Setiawan, 2012). Sehingga kajian laju erosi dan hasil sedimen sangat penting di DAS Serayu Hulu.

Penelitian ini bertujuan melakukan kajian laju sedimen di DAS Serayu Hulu dengan menggunakan pemodelan SWAT. Hasil aplikasi SWAT diharapkan dapat membantu mengetahui tingkat sedimentasi di lokasi kajian. Selain itu, tingkat sedimentasi tersebut diharapkan dapat menjadi dasar dalam penentuan zona produksi, transportasi dan deposisi di setiap DAS Serayu Hulu.

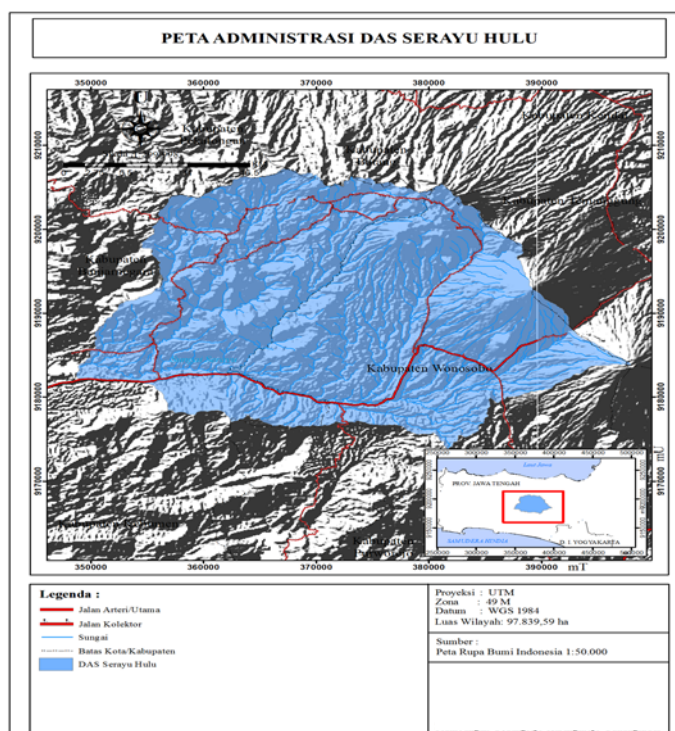
METODE PENELITIAN

DAS Serayu Hulu merupakan satuan wilayah sungai yang terletak di bagian Selatan Jawa Tengah. DAS Serayu hulu berada di Kabupaten Banjarnegara dan Wonosobo. DAS Serayu hulu mempunyai luas 97.839,59 Ha dan secara geografis terletak pada koordinat 07°05' - 07°4' LS dan 108°56' - 110° 05' BT (Gambar 1).

DAS Serayu Hulu sebelah utara dibatasi oleh rangkaian fisiografi Gunungapi Slamet dengan puncak setinggi 3.420 meter dpal, ke arah barat menyusuri batas administrasi Kab. Wonosobo, Banjarnegara, Purbalingga, Banyumas dan Cilacap. Di sebelah timur dibatasi oleh rangkaian Gunungapi Sumbing (3.246 meter dpal) dan Gunungapi Sindoro (3.136 meter dpal), di bagian utara dibatasi oleh kompleks pegunungan Besar, kompleks pegunungan Rogojembangan, Gunungapi Slamet, bagian selatan dibatasi oleh pegunungan Serayu Selatan. Di sebelah barat dibatasi oleh perbukitan yang melintang selatan-utara sepanjang perbatasan Kabupaten Banyumas dan Cilacap dengan puncak tertingginya ialah Gunung Biana (447 meter dpal).

DAS Serayu Hulu memiliki ketinggian 213-3238 mdpl yang didominasi dengan kemiringan lereng 8-15%.

Model SWAT (Soil Water Assessment Tool) merupakan model hidrologi yang mampu menganalisa laju sedimen (Briak, Moussadek, Aboumaria, & Mrabet, 2016; Rodriguez-Lloveras et al., 2015), pengaruh penggunaan lahan (Lin et al., 2015; Zhang, Fan, Li, &



Gambar 1. Wilayah Kajian DAS Serayu Hulu

Yi, 2017) baik terhadap kualitas maupun kuantitas air dan dapat mempertimbangkan perubahan iklim dan juga biodiversitas (Pyo et al., 2017). SWAT termasuk ke dalam *physically based model* dan *semidistributed model*.

Model tersebut mampu mensimulasikan daur hidrologi pada sebuah DAS. Simulasi proses-proses hidrologi dalam DAS dapat dilihat pada rumus di bawah ini (Neitsch et al., 2011).

$$SW_t = SW_0 + \sum_{n=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \dots 1$$

dimana SW_t merupakan kandungan air dalam tanah (mm), SW_0 merupakan simpanan air awal (mm), R_{day} adalah hujan (mm), Q_{surf} adalah aliran/limpasan permukaan/runoff (mm), E_a adalah evapotranspirasi (mm), W_{seep} adalah perkolasi (mm), Q_{gw} debit airtanah (mm) dan t adalah waktu (hari).

a. Limpasan Permukaan

Model SWAT dalam menghitung limpasan permukaan menggunakan rumus SCS-CN. SCS-CN merupakan model empiris yang telah dikembangkan dari banyak penelitian di Amerika. Model ini dibangun untuk mengestimasi limpasan yang terbentuk dari hujan yang dikontrol oleh faktor penggunaan lahan dan jenis tanah. Model SCS CN dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \dots 2$$

$$S = 25.4 \left(\frac{100}{CN} - 10 \right) \dots 3$$

Dimana Q_{surf} adalah akumulasi aliran permukaan, R_{day} adalah Hujan harian, I_a adalah abstraksi awal, S adalah retensi dan CNi adalah *Curve Number*

b. Erosi & Sedimentasi

Erosi dan hasil sedimen dihitung dengan menggunakan model *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE). Prinsip kerja MUSLE berbeda dengan USLE. Perhitungan erosi yang dihasilkan oleh USLE diperhitungkan berdasarkan curah hujan. MUSLE tidak memperhitungkan curah hujan sebagai sumber energi erosi namun menggunakan intensitas limpasan untuk mensimulasikan proses erosi dan pembentukan sedimen.

$$SED = 11.8 (Q_{surf} * q_{peak} * Area_{HRU})^{0.56} K_{USLE} * C_{USLE} * P_{USLE} * LS_{USLE} * CFRG \dots 4$$

Dimana SED adalah total sedimen pada outlet DAS, Q_{surf} adalah akumulasi surface runoff, q_{peak} adalah debit puncak dan $Area_{HRU}$ adalah luas area HRU

Dalam kajian ini, persiapan data masukan disesuaikan dengan untuk ArcSWAT versi 2012 untuk ArcGIS 10.2. Input Model SWAT hanya dapat berjalan apabila data yang sifatnya wajib dipenuhi, meskipun kadang output yang dikehendaki sebenarnya tidak membutuhkan semua input data parameter yang diwajibkan oleh model SWAT (Haw, Mehdi, Michael, Xiuying, & Jeffrey, 2014). Standar input ini diterapkan oleh model SWAT ini supaya dapat dilakukan kalibrasi model secara otomatis (Arnold et al., 2012). Data tersebut antara lain data topografi, penggunaan lahan, tanah, iklim dan data lain yang sifatnya pilihan (tergantung output yang diinginkan).

Basis Data Penggunaan Lahan

Data penggunaan lahan yang digunakan dalam pemodelan DAS Serayu Hulu adalah data peta RBI yang di update dengan citra dari google. Klasifikasi penggunaan lahan yang digunakan oleh Model SWAT berbeda dengan klasifikasi penggunaan lahan yang umum di Indonesia, dikarenakan penyesuaian Model SWAT jika akan diterapkan untuk perhitungan detail (skala besar).

Basis Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam model SWAT secara umum merupakan data sifat fisik tanah yang lengkap pada setiap lapisan. Untuk daerah kajian di DAS Serayu Hulu, data tanah didapatkan dengan analisis laboratorium dari sampel tanah yang di ambil di lapangan. Pendekatan pedogeomorfologi digunakan untuk menentukan batas sampel tanah. Penggunaan bentuklahan sebagai batas peta satuan tanah didasarkan pada adanya hubungan antara elemen bentuklahan dengan sifat morfologi tanah.

Basis Data Iklim

Model SWAT membutuhkan data harian dari lima parameter iklim yaitu curah hujan, temperatur maksimum-minimum, kelembaban relatif, kecepatan angin dan radiasi matahari. Dalam pemodelan SWAT di DAS Serang data curah hujan diambil dari stasiun penakar curah hujan yang tersebar di dalam maupun di luar DAS, sedangkan untuk parameter lainnya diambil dari weather generator yang dimiliki oleh SWAT. Penggunaan weather generator dikarenakan kondisi data iklim yang dimiliki oleh beberapa instansi kualitasnya buruk dan tidak dapat dipakai.

HRU disusun berdasarkan peta *land use* (Gambar 3a), peta tanah (Gambar 2b), dan kemiringan lereng (Gambar 2a). Adapun langkah – langkah pembentukan HRU adalah sebagai berikut:

Melakukan klasifikasi *land use* sesuai dengan database ArcSWAT

Penggunaan lahan DAS Serayu Hulu secara umum terbagi menjadi sebelas jenis penggunaan lahan. Jenis penggunaan lahan didominasi oleh jenis penggunaan lahan kebun seluas 30,43%. Penggunaan lahan yang lainnya meliputi air tawar (0,80%), semak belukar (9,84%), gedung (0,04%), permukiman (1,47%), rawa (0,01%), rumput (0,35%), sawah irigasi (6,36%), sawah tadah hujan (13,32%), dan tegalan/pertanian lahan kering (30,15%).

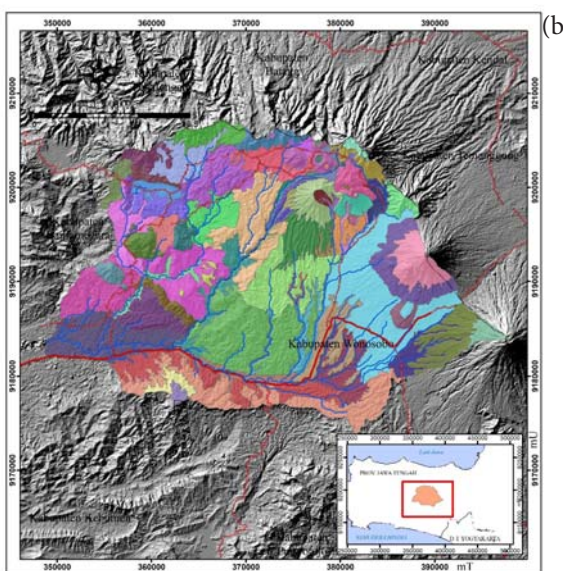
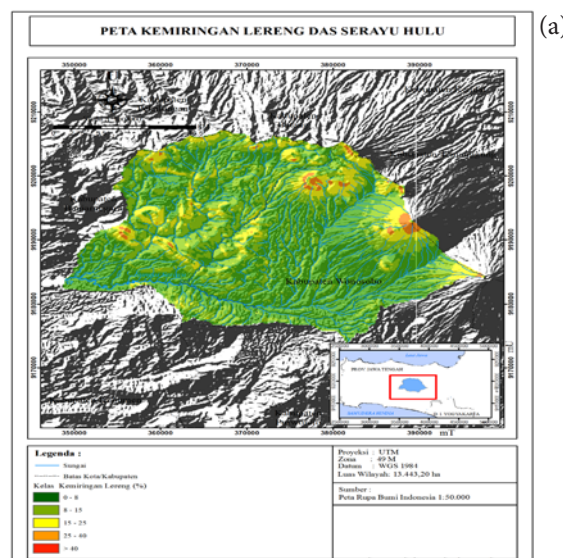
Melakukan klasifikasi peta tanah hasil generalisasi dengan database user soil hasil uji laboratorium.

Dari pemetaan morfologi, didapatkan pada DAS Serayu Hulu memiliki 79 satuan tanah (Gambar 2b). 79 sampel tanah di ambil untuk uji laboratorium. Dari hasil survey lapangan diketahui bahwa ketebalan tanah di wilayah penelitian berkisar antara 1080 – 5000 cm. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa tekstur tanah pada wilayah hulu didominasi oleh silty loam sandy loam sedangkan pada wilayah hulu didominasi oleh loam. Tanah dengan tekstur clay berada pada satuan Serayu 39, 40, 46, 58, dan 66. Tanah tersebut memiliki karakteristik permeabilitas yang rendah.

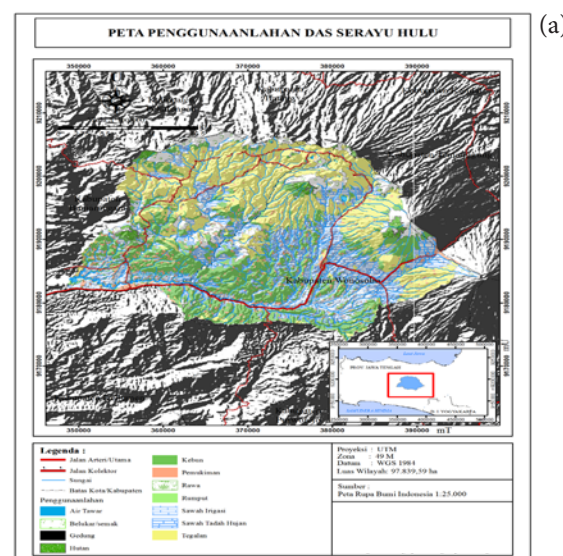
Melakukan klasifikasi lereng berdasarkan kebutuhan. Dalam kegiatan ini lereng diklasifikasikan berdasarkan 5 kelas, 0 – 8 %, 8 – 15 %, 15 – 25, 25 – 40%, > 40%

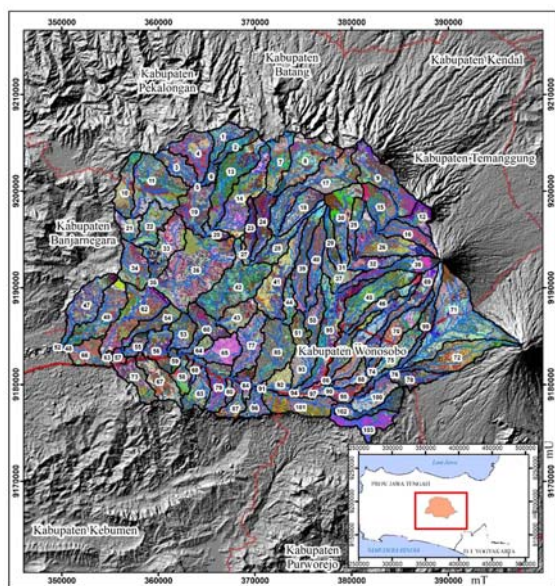
Overlay peta *land use*, tanah dan lereng.

Setelah HRU terbentuk dilakukan HRU definition untuk melakukan pembobotan terhadap HRU yang telah dibuat (Gambar 3b).



Gambar 2. Peta input a. Peta Lereng DAS Serayu Hulu, b. Peta Morfologi untuk batas tanah





Gambar 3. a. Peta Penggunaan lahan,
b. Peta HRU

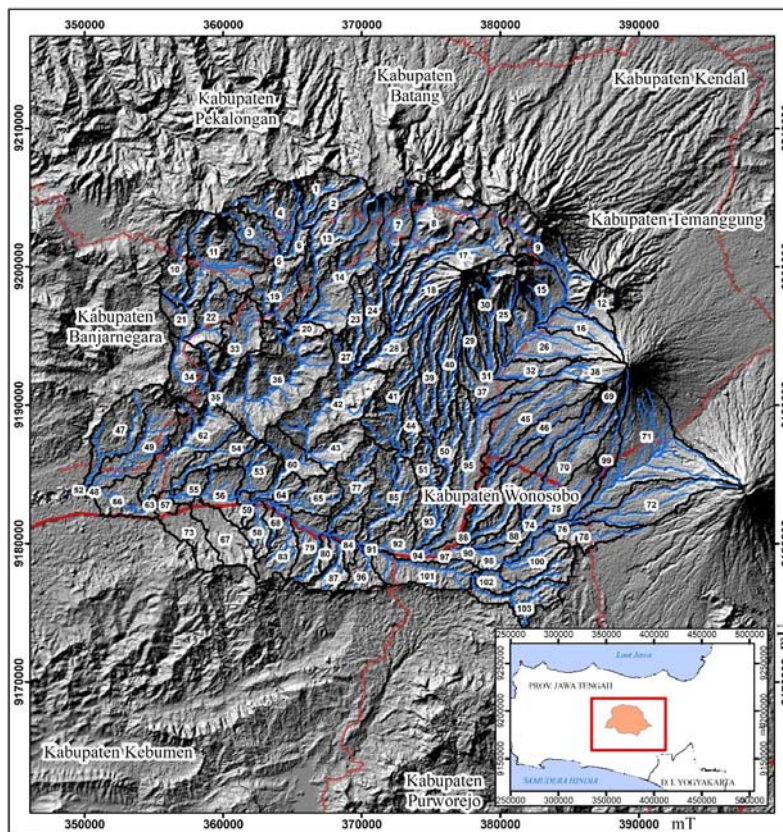
(b) deliniasi otomatis subdas. Hasil dari deliiasi otomatis ini menghasilkan 102 Sub DAS yang berada di DAS Serayu Hulu.

Model SWAT juga dapat menghitung morfometri setiap Sub DAS. DAS Serayu Hulu memiliki total luas 98.280,96 Ha dengan luas Sub DAS terkecil 500 Ha dan terbesar 4046 Ha. Kemiringan lereng Sub DAS berkisar antara 11% - 47% dengan rerata 24%. Hal ini disebabkan oleh letak wilayah kajian yang berada di sekitar gunungapi (kompleks Dieng, Sumbing, dan Sindoro) dan Perbukitan Struktural Serayu sehingga luasan subdas menjadi beraneka ragam. Sub DAS 9 dan 30 yang berada di Kompleks Gunungapi Dieng memiliki kemiringan lereng >40%. Sementara itu, Sub DAS yang berada di sekitar outlet dan lereng kaki Gunung Api Sindoro-Sumbing memiliki kemiringan lereng <20% (Sub DAS 31, 32, 35, 37, 45, 46, 48, 49, 52).

Model SWAT masih dapat membagi Sub DAS menjadi satuan yang lebih kecil lagi. *Hydrological response unit* (HRU) merupakan merupakan unit satuan lahan terkecil yang digunakan oleh SWAT (Gambar 3b). HRU didapatkan dengan cara melakukan *overlay* pada data tanah, penggunaan lahan, dan kemiringan lereng secara otomatis dengan model SWAT. Pemodelan pada DAS Serayu Hulu menghasilkan 6548 unit dengan luasan *threshold* 9 Ha *Threshold* tersebut merupakan luas minimum untuk pemetaan pada skala 1: 50.000.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model SWAT dapat melakukan deliniasi DAS dan Sub DAS secara otomatis. Deliniasi tersebut dilakukan berdasarkan data DEM (digital elevation moden), batas DAS definitif, dan sungai. Gambar 4 menunjukkan hasil



Gambar 4. Batas Sub DAS dari hasil deliniasi otomatis Model SWAT

Validasi Model

Uji validasi diperlukan setiap pemodelan untuk mengetahui tingkat keabsahan hasil dari suatu model (dos R. Pereira, Martinez, Pruski, & da Silva, 2016). Validasi dijalankan dengan membandingkan nilai keluaran model dengan nilai observasi (Tabel 1).

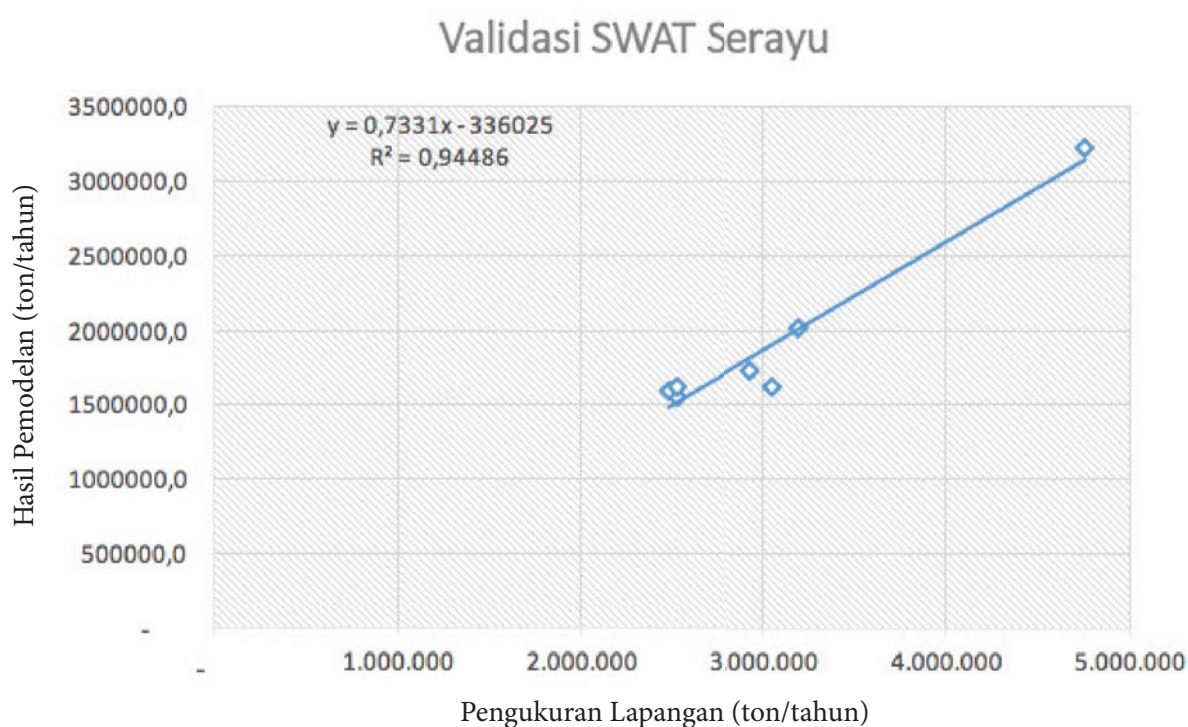
Tabel 1 Data Laju Sedimen Hasil Obervasi dan Model DAS Serayu Hulu

Tahun	Terukur (ton/tahun)	Model (ton/tahun)
2013	2.038.706	2.132.000
2012	3.054.257	1.625.000
2011	3.194.312	2.013.000
2010	4.750.392	3.229.000
2009	2.930.900	1.727.000
2008	2.519.254	1.556.000
2007	2.477.226	1.598.000
2006	2.518.515	1.621.000

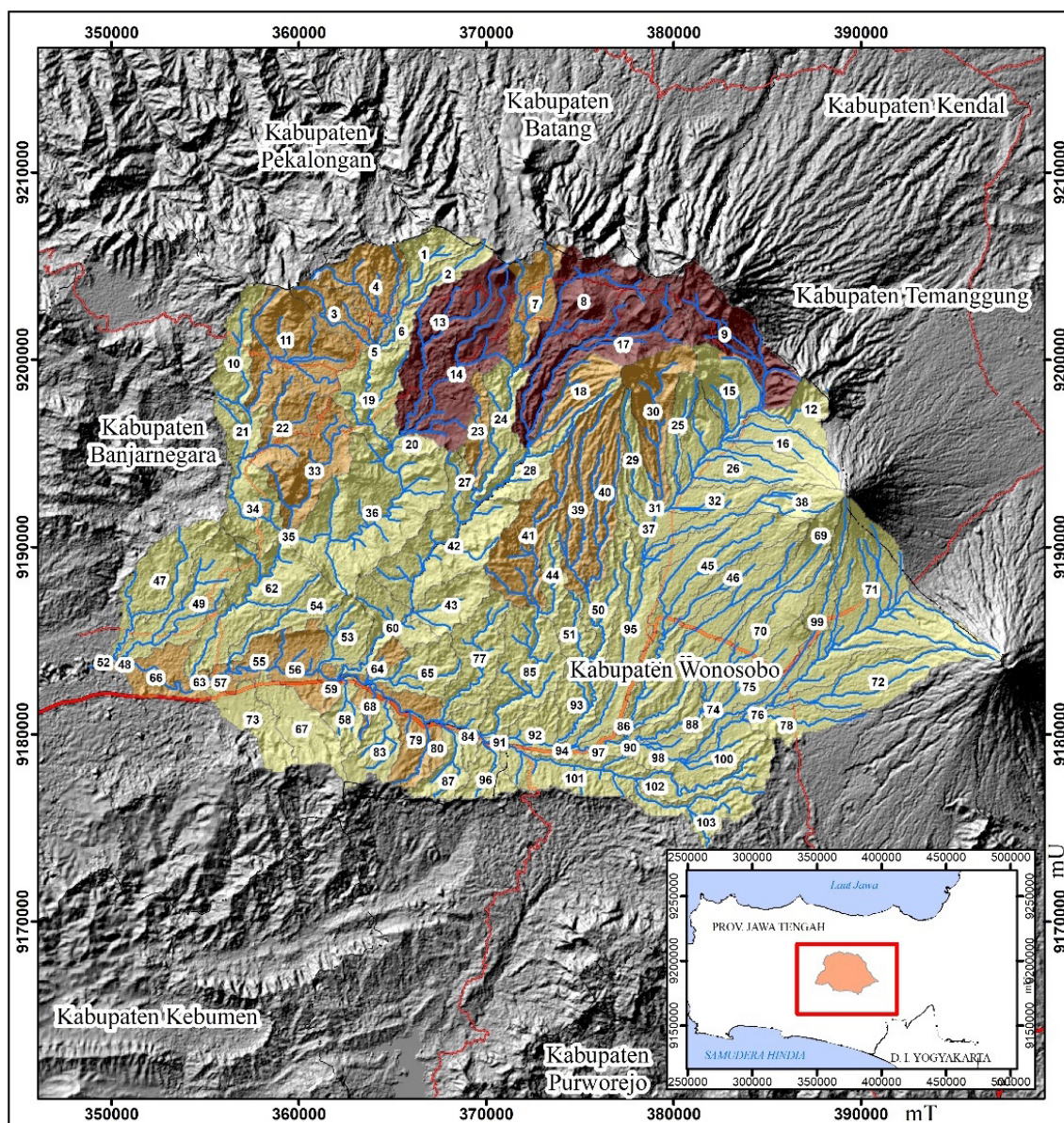
Hasil dari perbandingan antara model dengan pengukuran lapangan memperlihatkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,94 (Gambar 5). Koefisien determinasi $>0,5$ pada DAS Serayu Hulu memiliki arti bahwa hasil keluaran model dapat diterima kebenarannya.

Hasil Sedimen

Hasil dari model SWAT adalah laju sedimen. Akumulasi hasil sedimen DAS Serayu Hulu ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pada Sub DAS 9 dan 17 laju sedimen tergolong tinggi yaitu sekitar 4,8 juta ton/tahun dan 5,1 juta ton/tahun. Sementara itu, Sub DAS 52 yang merupakan *outlet* DAS Serayu Hulu memiliki laju sedimen 1,9 juta ton/tahun. Nilai yang lebih kecil dibandingkan di wilayah hulu kajian ini (Sub DAS 9 dan 17) disebabkan karena adanya sedimentasi pada Sub DAS sebelum mencapai *outlet*. Hasil pemodelan SWAT dengan menggunakan data selama 10 tahun (2004-2013) menunjukkan bahwa DAS Serayu Hulu memiliki rerata hasil sedimen sebesar 1.926.900



Gambar 5. Validasi Model SWAT DAS Serayu Hulu



Gambar 6. Laju Sedimen di DAS Serayu Hulu

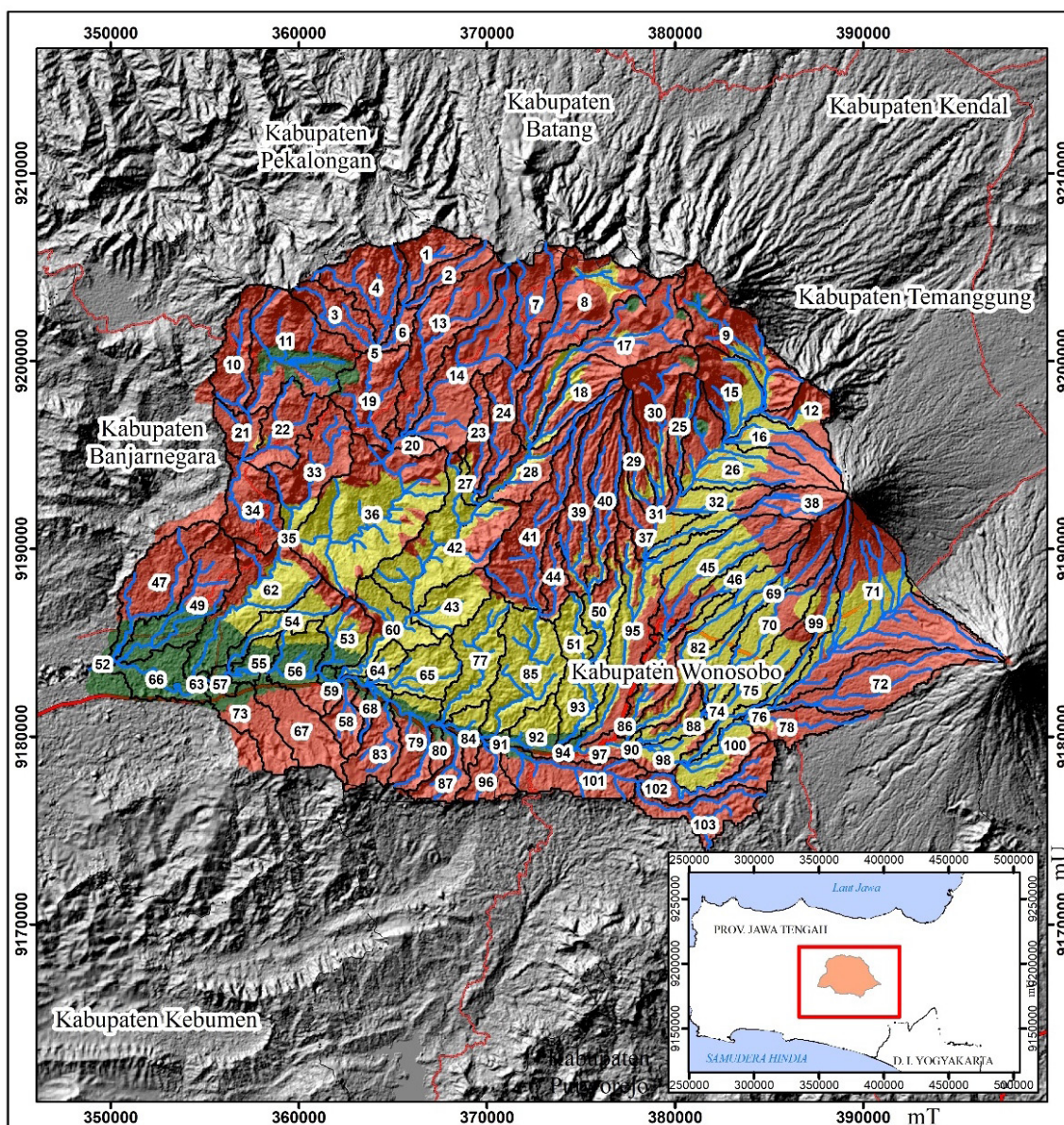
Zona Produksi, Transportasi Dan Sedimentasi

Berdasarkan konsep, zona produksi merupakan suatu kawasan penghasil material sedimen yang mana proses yang berlangsung berupa proses erosi sedangkan zona transportasi merupakan zona peralihan dimana material sedimen terangkut dari wilayah produksi ke wilayah deposisi. Zona deposisi merupakan kawasan dimana material mulai terendapkan salah satunya disebabkan oleh penurunan laju aliran air (Asdak, 2010).

Pembagian zona produksi, transportasi, dan deposisi pada wilayah kajian didasarkan atas pembagian morfologi dan hasil sedimen dari model SWAT. Zona produksi berada pada kawasan dengan morfologi

bergabung atau berbukit. Zona transportasi berada pada kawasan bergelombang. Berbeda dengan zona produksi dan transportasi, zona deposisi berada pada kawasan dengan morfologi landai atau datar.

Zona produksi, transportasi, dan deposisi DAS Serayu Hulu disajikan secara spasial yang digambarkan pada Gambar 7. Zona produksi DAS Serayu Hulu berada di sekitar gunung (Slamet, kompleks Dieng, Sumbing, dan Sindoro), Perbukitan Besar, dan Perbukitan Struktural Serayu. Zona transportasi berada pada wilayah lereng gunung dan lereng perbukitan. Zona deposisi berada pada kawasan hilir DAS Serayu hulu mendekati *outlet* DAS.



Gambar 7. Peta Zona Produksi, Transportasi dan Deposisi DAS Serayu Hulu

KESIMPULAN

Hasil pemodelan SWAT pada DAS Serayu Hulu dengan menggunakan data selama 10 tahun (2004-2013) menunjukkan bahwa DAS Serayu Hulu memiliki rerata hasil sedimen sebesar 1.926.900 ton/tahun. Sub DAS 8,9 11, 17, 18, dan 19 merupakan penghasil sedimen tertinggi di DAS Serayu Hulu dengan hasil sedimen 43.931– 121.434 ton/ha/tahun. Model SWAT mampu mensimulasikan proses erosi, transportasi dan deposisi, sehingga luaran model SWAT dapat digunakan untuk pembuatan zona produksi, transportasi dan deposisi sedimen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana berkat kerjasama antara Fakultas Geografi dan Balai Sabo. Terimakasih

kami ucapkan kepada Laboratorium GLMB, Fakultas Geografi; Balai Sabo, dan Laboratorium Transluent atas data dan bantuannya sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Srinivasan, R., Williams, J. R., Haney, E. B., & Neitsch, S. L. (2012). *Soil and Water Assessment Tool: Input/Output Files*. Retrieved from <http://swat.tamu.edu/media/69296/SWAT-IO-Documentation-2012.pdf>
- Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Air Sungai: Edisi Revisi Kelima*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Briak, H., Moussadek, R., Aboumaria, K., & Mrabet, R. (2016). Assessing sediment yield in Kalaya

- gauged watershed (Northern Morocco) using GIS and SWAT model. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(3), 177–185. <http://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.08.002>
- Christanto, N., Hadmoko, D. S., Westen, C. J., Lavigne, F., Sartohadi, J., & Setiawan, M. A. (2009). Characteristic and Behavior of Rainfall Induced Landslides in Java Island, Indonesia : an Overview. *EGU General Assembly 2009, Held 19-24 April, 2009 in Vienna, Austria* <http://meetings.copernicus.org/egu2009>, p.4069, 11, 4069. Retrieved from <http://adsabs.harvard.edu/abs/2009EGUGA..11.4069C>
- Christanto, N., Sartohadi, J., Setiawan, M. A., Hadi, M. ., Jetten, V. G., & Shrestha, D. P. (2017). Investigating The Effect of Conservation Techniques on the Land Degradation of Tropical Catchment Prone to Landslide. *Jurnal Geografi, UNNES*, 14(2), 1–10.
- Christanto, N., Shrestha, D. P., Jetten, V. G., & Setiawan, A. (2012). Modeling the effect of terraces on land degradation in tropical upland agricultural area. *EGU General Assembly 2012, Held 22-27 April, 2012 in Vienna, Austria.*, p.1075, 14, 1075. Retrieved from <http://adsabs.harvard.edu/abs/2012EGUGA..14.1075C>
- dos R. Pereira, D., Martinez, M. A., Pruski, F. F., & da Silva, D. D. (2016). Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil using the SWAT model part I: Calibration and validation tests. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 7, 14–37. <http://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.05.002>
- Ferijal, T. (2013). Aplikasi Model SWAT Untuk Mensimulasikan Debit Sub DAS Krueng Meulesong Menggunakan Data Klimatologi Aktual Dan Data Klimatologi Hasil Perkiraan. *Rona Teknik Pertanian*, 6(1), 398–404.
- Lin, B., Chen, X., Yao, H., Chen, Y., Liu, M., Gao, L., & James, A. (2015). Analyses of landuse change impacts on catchment runoff using different time indicators based on SWAT model. *Ecological Indicators*, 58, 55–63. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.031>
- Liu, R., Wang, Q., Xu, F., Men, C., & Guo, L. (2017). Impacts of manure application on SWAT model outputs in the Xiangxi River watershed. *Journal of Hydrology*, 555, 479–488. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.044>
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009 Texas Water Resources Institute. Retrieved from <http://swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf>
- Patil, A., & Ramsankaran, R. (2017). Improving streamflow simulations and forecasting performance of SWAT model by assimilating remotely sensed soil moisture observations. *Journal of Hydrology*, 555, 683–696. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.058>
- Peraturan Pemerintah RI No. 37. (2012). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai.
- Polanco, E. I., Fleifle, A., Ludwig, R., & Disse, M. (2017). Improving SWAT model performance in the Upper Blue Nile River Basin using meteorological data integration and catchment scaling. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1–28. <http://doi.org/10.5194/hess-2016-664>
- Pyo, J., Pachepsky, Y. A., Kim, M., Baek, S., Lee, H., Cha, Y., ... Cho, K. H. (2017). Simulating seasonal variability of phytoplankton in stream water using the modified SWAT model. *Environmental Modelling and Software*. <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.11.005>
- Rodriguez-Lloveras, X., Bussi, G., Francés, F., Rodriguez-Caballero, E., Solé-Benet, A., Calle, M., & Benito, G. (2015). Patterns of runoff and sediment production in response to land-use changes in an ungauged Mediterranean catchment. *Journal of Hydrology*, 531, 1054–1066. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.014>
- Senent-Aparicio, J., Pérez-Sánchez, J., Carrillo-García, J., & Soto, J. (2017). Using SWAT and Fuzzy TOPSIS to Assess the Impact of Climate Change in the Headwaters of the Segura River Basin (SE Spain). *Water*, 9(3), 149. <http://doi.org/10.3390/w9020149>
- Setiawan, M. A., Stoetter, J., Sartohadi, J., & Christanto, N. (2009). The Integrated Soil Erosion Risk Management Model of Central Java , Indonesia, 11.
- Sun, L., Nistor, I., & Seidou, O. (2015). Streamflow data assimilation in SWAT model using Extended Kalman Filter. *Journal of Hydrology*, 531, 671–684. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.060>
- Zhang, S., Fan, W., Li, Y., & Yi, Y. (2017). The influence of changes in land use and landscape patterns on soil erosion in a watershed. *Science of The Total Environment*, 574, 34–45. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.024>