

Analisis Perkiraan Sedimentasi dan Fungsi Hidrologi DAS Ngrancah, Kulonprogo Menggunakan Permodelan SWAT

Muhammad Fauzan Ramadhan¹

¹Magister Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

*Penulis korespondensi :

Email : muhammad.fauzan.r@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Proses Hidrologi dalam DAS selalu terjadi secara berkesinambungan. Kondisi ini akan menuntun pada kondisi yang setimbangan, adanya aktivitas yang terlalu berlebih akan mempengaruhi fungsi hidrologi yang dimiliki. Metode penilaian terkait fungsi hidrologi juga akan terkait dengan sedimentasi yang berlangsung. Penelitian ini menggunakan permodelan SWAT untuk menghitung sedimentasi dan fungsi hidrologi DAS yang dilakukan pada DAS Ngrancah. Tujuan dalam penelitian ini sebagai berikut (1) mengetahui terkait fungsi hidrologis yang terjadi pada DAS Ngrancah melalui permodelan SWAT; (2) menghitung nilai sedimentasi melalui permodelan SWAT berdasarkan data sekunder yang tersedia; (3) melakukan permodelan konservasi untuk memberikan gambaran terkait perubahan kondisi sedimentasi yang terjadi. Data yang digunakan berupa informasi topografi, penggunaan lahan, jenis tanah, dan iklim. Hasil dari penelitian ini menunjukkan jika air hujan menjadi air tanah dengan proses infiltrasi dan perkolasi yang dominan dengan perkiraan nilai sedimentasi sebesar 200 ton/ha/tahun. Konservasi teras terlihat memiliki estimasi pengurangan nilai yang signifikan, sedangkan pada filter strip terlihat mampu lebih menyesuaikan dengan penggunaan lahan yang ada.

Kata Kunci : DAS Ngrancah; Fungsi Hidrologi; Permodelan SWAT; Sedimentasi

PENDAHULUAN

Proses hidrologi dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) berjalan dengan berkesinambungan antara satu sama lain. Setiap proses akan saling berkaitan dan mempengaruhi (Lal, 2000). Oleh karena itu dalam setiap masukan hidrologi (presipitasi) akan dimanfaatkan ke dalam berbagai bentuk penggunaan seperti menjadi aliran permukaan, aliran air tanah, dan sebagainya. Penggunaan sumber daya air ini juga dimanfaatkan oleh manusia dalam melakukan aktivitas harian. Proses hidrologi yang terjadi pada suatu DAS juga tidak hanya berkaitan dengan sumber daya air namun juga dapat mempengaruhi dari kondisi lainnya seperti erosi dan sedimentasi, penggunaan lahan, dan sebagainya. Berdasarkan hal tersebut pengelolaan DAS secara terpadu perlu untuk dilakukan agar dapat mengakomodasi setiap kepentingan yang terjadi (Davenport, 2002).

Pengaruh aktivitas manusia dalam suatu DAS dapat mempengaruhi terkait proses hidrologi yang terjadi pada suatu DAS. Hal ini dapat berkaitan dengan adanya proses erosi dan sedimentasi sehingga dapat menyebabkan adanya kerusakan pada produktivitas lahan, kualitas air, dan jasa ekosistem (Lin dkk., 2020). Hal ini tentu dapat mempengaruhi pula pada proses hidrologi yang terjadi melalui penggunaan lahan tertentu dan selanjutnya dapat menyebabkan adanya peningkatan pada limpasan permukaan (Gregersen dkk., 2007). Limpasan permukaan yang melebihi kapasitas sungai dapat menyebabkan adanya kejadian banjir sehingga menimbulkan kerugian bagi masyarakat

(Bisht dkk., 2018). Estimasi nilai sedimen pada DAS dapat memberikan pemahaman mengenai pengaruh dari aliran sungai, topografi, material permukaan, dan penggunaan lahan (Barkach dkk., 2020). Oleh karena itu diperlukan adanya strategi khusus yang terpadu untuk suatu DAS dalam mengatasi permasalahan melalui proses hidrologi ini.

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam menilai proses hidrologi dan nilai sedimen pada suatu DAS adalah dengan menggunakan model SWAT (*Soil and Water Assessment Tools*). Model SWAT merupakan salah satu bentuk model fisik yang dapat digunakan sebagai alat untuk mengevaluasi dan memprediksi kondisi DAS secara spasial (Neitsch dkk., 2011). Penggunaan model SWAT banyak digunakan dalam melakukan analisis terkait kondisi pada suatu DAS dikarenakan dapat menampilkan variasi spasial terkait proses erosi dan sedimentasi melalui simulasi yang dilakukan (Lin dkk., 2020), dan kemudian dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi dari aktivitas manusia terhadap kondisi DAS (Ghafari dkk., 2017). Kelebihan lain dari penggunaan model SWAT ini adalah memiliki masukan data yang tersedia dengan mudah (Polanco dkk., 2017), dan dapat dilakukan secara efisien (Christanto dkk., 2018).

DAS Ngrancah terletak pada Kabupaten Kulonprogo dan termasuk kedalam bagian DAS Serang. Terdapat Waduk Sermo pada DAS Ngrancah, dan dalam penelitian ini bagian das yang akan digunakan adalah DAS Ngrancah hulu, sehingga outlet dari DAS akan mengarah ke dalam Waduk Sermo. Waduk Sermo sekarang dimanfaatkan sebagai salah satu sumber air baku bagi PDAM (Sudarmadji & Widyastuti, 2014). Perubahan penggunaan lahan yang terjadi pada sekitar Waduk Sermo dapat menyebabkan adanya peningkatan erosi tanah dan mengubah nilai koefisien aliran. Adanya peningkatan hal tersebut dapat menyebabkan adanya fungsi hidrologis yang terganggu pada DAS Ngrancah. Peningkatan erosi dapat menyebabkan adanya peningkatan sedimen, sehingga nilai sedimen yang meningkat dapat menimbulkan percepatan pendangkalan Waduk Sermo (Heryani & Sutrisno, 2012). Oleh karena itu kajian sedimentasi dan fungsi hidrologis DAS Ngrancah perlu untuk dilakukan agar dapat memberikan arahan kebijakan terkait konservasi agar eksistensi Waduk Sermo dapat dipertahankan sesuai dengan umur pelayanan. Berdasarkan hal tersebut tujuan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut (1) mengetahui terkait fungsi hidrologis yang terjadi pada DAS Ngrancah melalui permodelan SWAT; (2) menghitung nilai sedimentasi melalui permodelan SWAT berdasarkan data sekunder yang tersedia; (3) melakukan permodelan konservasi untuk memberikan gambaran terkait perubahan kondisi sedimentasi yang terjadi.

METODE

Model SWAT merupakan model yang digunakan untuk mengidentifikasi kondisi fungsi hidrologis suatu DAS (Neitsch dkk., 2011). Model ini melakukan simulasi terkait siklus hidorlogi pada DAS. Simulasi yang digunakan dapat dilihat pada persamaan 1.

$$SW_T = SW_0 + \sum_{i=1}^T (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

Dengan SW_T merupakan nilai kandungan air dalam tanah, SW_0 adalah nilai simpanan awal (mm), R_{day} adalah hujan (mm), Q_{surf} adalah aliran permukaan/*run off* (mm), E_a

adalah nilai evapotranspirasi (mm), W_{seep} adalah nilai perkolasi (mm), Q_{gw} adalah debit airtanah (mm) dan t adalah waktu

Data yang diperlukan dalam model SWAT ini adalah terkait data topografi (DEM), penggunaan lahan, tanah, dan iklim. Daur Hidrologi dalam DAS hanya memiliki satu masukan utama, yaitu masukan hujan. Data topografi yang digunakan dalam penelitian ini adalah data dari DEMNAS pada lembar 1408-21 dan 1408-23. Nilai resolusi spasial dari DEMNAS ialah sekitar 8 meter. Data penggunaan lahan didapatkan melalui peta RBI dan hasil pengamatan pada citra *google earth*. Diperlukan adanya klasifikasi penggunaan lahan terlebih dahulu agar sesuai dengan ketentuan pada model SWAT. Data tanah didapatkan melalui basis data tanah oleh FAO (<http://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/en/>) dan peta tanah dari Provinsi DIY. Data iklim yang digunakan adalah data hujan, suhu rata-rata, kelembapan relatif, radiasi matahari, dan kecepatan angin. Data hujan didapatkan melalui data sekunder hasil pengukuran stasiun disekitar DAS, sedangkan data lainnya diperoleh basis data yang ada pada model SWAT (<https://globalweather.tamu.edu/>). Data-data yang telah dikumpulkan kemudian dilakukan *overlay* sehingga membentuk satuan respon hidrologi, yang menjadi unit pengukuran nilai aliran dan fungsi hidrologi.

Perhitungan aliran permukaan dilakukan dengan menggunakan SCS-CN. Parameter yang digunakan ialah terkait parameter *curve number* (CN) dan *initial abstraction*. Untuk nilai erosi dan sedimentasi dihitung menggunakan model *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE). Perhitungan pada MUSLE mempertimbangkan besaran limpasan permukaan untuk mendapatkan hasil erosi dan pembentukan sedimen.

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

$$S = 25,4 \left(\frac{100}{CN} - 10 \right) \quad (3)$$

$$Sed = 11,8 (Q_{surf} \cdot Q_{peak} \cdot Area_{HRU})^{0,56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG \quad (4)$$

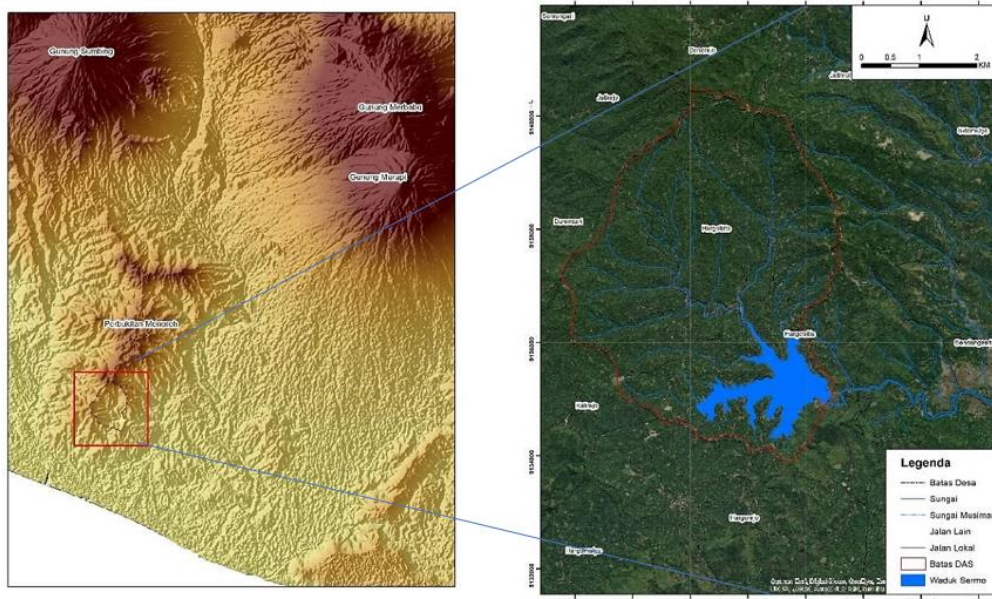
Sed merupakan nilai sedimen (ton), Q_{surf} adalah nilai aliran permukaan (mm/ha), q_{peak} adalah nilai puncak dari laju aliran permukaan (m^3/s), $Area_{HRU}$ adalah luasan area HRU (ha), K_{USLE} adalah faktor erodibilitas tanah $ton \cdot m^2 \cdot jam / m^3$, C_{USLE} adalah faktor penggunaan lahan dan pengolahannya, P_{USLE} adalah nilai praktek pendukung LS_{USLE} adalah nilai faktor topografi, dan $CFRG$ adalah faktor bahan kasar.

Hasil pemodelan SWAT ini hanya bersifat pendugaan sehingga diperlukan adanya validasi dilapangan dengan mencari informasi terkait besaran debit keluar dan sedimen. Validasi tidak dilakukan dalam penelitian ini dikarenakan keterbatasan sumber data yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

DAS Ngrancah merupakan salah satu sub-DAS dari DAS Serang. Terdapat Waduk Sermo dalam DAS Ngrancah, sehingga dapat dikatakan jika DAS Ngrancah merupakan daerah Tangkapan Air Waduk Sermo. Secara administratif DAS Ngrancah terletak pada Kecamatan Kokap, Kulonprogo. DAS Ngrancah memiliki luas sekitar 21 KM^2 dan secara absolut terletak pada 401422 meter Timur dan 9137140 meter Utara. Penggunaan lahan

yang dominan berada pada DAS Ngrancah ialah penggunaan lahan tegalan dan kebun. Sifat sungai didominasi oleh sungai musiman.



Gambar 1. Wilayah DAS Ngrancah

Secara fisiografis DAS Ngrancah terletak pada rangkaian perbukitan Menoreh. Rentang ketinggian DAS Ngrancah ialah dari 187 Mdpl hingga 378 Mdpl. Kemiringan lereng pada DAS Ngrancah cenderung menunjukkan lereng yang terjal. Secara genesa DAS Ngrancah terbentuk melalui hasil pengangkatan dan telah mengalami proses denudasi. Terdapat beberapa formasi geologi seperti Formasi Nanggulan, Andesit Tua, Andesit dan Jonggrangan. Jenis tanah berdasarkan basis data tanah FAO menunjukkan jika pada DAS Ngrancah memiliki tanah bertipe latosol. Hasil identifikasi Morfometri DAS Ngrancah melalui permodelan SWAT menunjukkan jika DAS Ngrancah memiliki panjang sekitar 5,2 Km dan lebar 4,7 Km.

Sistem DAS merupakan sebuah sistem yang memiliki fungsi hidrologi tersendiri. Proses hidrologi yang terjadi adalah melalui satu sumber utama yang kemudian berubah menjadi berbagai bentuk keluaran. Sumber utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah melalui air hujan. Unit lahan yang digunakan pada model SWAT kali ini adalah mengenai *overlay* dari parameter penggunaan lahan, tanah, dan kemiringan lereng. Unit ini dapat disebut sebagai satuan respon hidrologi (HRU). Hal ini dikarenakan air hujan yang jatuh pada DAS akan direspon secara berbeda beda, dengan menyesuaikan kondisi yang menjadi dasar dalam pembentukan HRU. Adanya pengelasan dengan menggunakan data HRU dapat digunakan untuk mengetahui respons terhadap air hujan dengan lebih baik, sehingga dapat diamati mengenai proses hidrologi yang terjadi.

Proses hidrologi yang diamati adalah mengenai siklus hidrologi yang terjadi pada DAS Ngrancah. Hasil model SWAT pada kondisi aktual menunjukkan jika curah hujan pada DAS Ngrancah cenderung untuk meresap ke dalam tanah (dan menjadi aliran dasar), dan juga menjadi aliran permukaan. Kondisi tutupan lahan hasil pemetaan melalui citra *google earth* terlihat jika pada DAS Ngrancah memiliki kondisi yang masih berupa

perkebunan, sehingga dapat diasumsikan belum terdapat banyak tutupan pada lahan yang dapat menghambat air untuk berinfiltrasi ke dalam tanah. Kondisi lereng yang berada pada DAS Ngrancah cenderung memiliki nilai yang terjal sehingga dapat menandakan jika air sulit meresap akibat gaya gravitasi cenderung lebih kuat dan kemudian menjadi aliran permukaan.

Hasil perkiraan sedimentasi kondisi normal menunjukkan pada DAS Ngrancah menunjukkan adanya variasi spasial dalam perbedaan nilai. Perhitungan nilai sedimen didasarkan pada setiap HRU. HRU yang memiliki nilai sedimen terbesar umumnya berada pada kemiringan lereng yang cenderung sangat terjal dan berada dekat dengan Waduk Sermo. Hal ini dikarenakan pada kemiringan lereng yang terjal cenderung lebih mudah mengalami proses erosi sehingga menghasilkan nilai sedimen yang cukup tinggi, dan juga HRU yang dekat dengan Waduk Sermo termasuk ke dalam zona deposisi sehingga banyak menerima masukan sedimen dari lereng yang berada di atasnya.

Penggunaan lahan seperti kebun dan tegalan juga menghasilkan nilai sedimentasi yang cukup besar. Klasifikasi nilai sedimen didasarkan pada klasifikasi Morgan (2005). Hal ini dikarenakan dalam pengolahan lahan yang dilakukan tidak menutup lahan sehingga proses perpindahan material tanah mudah untuk terjadi. Terlihat pada nilai sedimen yang tinggi terletak pada penggunaan lahan yang berupa kebun dan tegalan. Adanya penggunaan lahan kebun, dan tegalan mampu untuk meningkatkan nilai sedimen akibat proses pengolahan lahan, namun dapat menurunkan nilai limpasan permukaan. Hal ini menjadi berbeda pada kondisi penggunaan lahan yang berupa permukiman dan gedung. Permukiman dan gedung cenderung memiliki nilai sedimen yang rendah namun memiliki nilai limpasan permukaan yang cukup tinggi.

Secara keseluruhan DAS Ngrancah diperkirakan menghasilkan sedimentasi sekitar 200 Ton/Ha. Penanganan dalam menurunkan erosi dan sedimentasi dapat dilakukan dengan melakukan perencanaan konservasi pada lereng dan penggunaan lahan tertentu. Penggunaan lahan yang berasosiasi dengan aktivitas pertanian seperti kebun dan tegalan cenderung memiliki nilai sedimen yang besar sehingga dapat dikatakan kegiatan konservasi dapat difokuskan pada penggunaan lahan tersebut.

Tabel 1. Perkiraan hasil sedimentasi dan koefisien aliran permukaan DAS Ngrancah

	Sedimen (Ton/Ha)	Limpasan Permukaan (mm)	Curah Hujan (mm)	Koefisien Aliran Tahunan
Normal	291.45	1354.38	3858.22	0.35
Konservasi Teras	138.57	1107.21	3858.22	0.29
Konservasi <i>filter strip</i>	160.06	1122.35	3858.22	0.29
Konsevasi + Teras <i>filter strip</i>	32.60	875.18	3858.22	0.23

Pengamatan mengenai daur hidrologi pada model SWAT dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan terkait koefisien aliran tahunan (KAT). Nilai KAT menggambarkan besaran limpasan permukaan yang terjadi akibat proses hujan, semakin

kecil nilai KAT menandakan semakin kecil pula limpasan permukaan yang dihasilkan oleh proses hujan. Hal ini kemudian dapat digunakan untuk memperhitungkan kondisi daur hidrologi yang terjadi.

Nilai KAT yang besar cenderung terjadi pada daerah dengan penggunaan lahan berupa permukiman dan gedung. Hal ini dikarenakan pada penggunaan lahan tersebut telah terjadi proses penutupan tanah sehingga menyebabkan air sulit untuk mengalami infiltrasi ke dalam tanah. Secara umum nilai KAT pada DAS Ngrancah adalah sekitar 0.3 sehingga masih tergolong ke dalam kondisi sedang berdasarkan peraturan menteri kehutanan nomor 61 tahun 2014.

Berdasarkan hasil permodelan pada kondisi normal dan kondisi konservasi menunjukkan adanya penurunan nilai pada nilai sedimentasi maupun pada limpasan permukaan. Hal ini menunjukkan dengan adanya program konservasi akan menyebabkan air akan lebih mudah terserap oleh tanah ataupun tersimpan di atas permukaan sebagai sumber daya air tertentu. Konservasi dengan metode teras terlihat lebih mampu mengurangi adanya proses erosi dan sedimentasi, maupun limpasan permukaan. Konservasi teras merupakan metode konservasi yang digunakan untuk mengurangi panjang lereng dan menahan air lebih lama pada permukaan, sehingga mampu memperbesar nilai infiltrasi dan perkolasi pada tanah. Terlihat melalui secara spasial jika konservasi *filter strips* mampu mengubah kondisi sedimentasi maupun limpasan permukaan secara lebih menyeluruh dibandingkan dengan konservasi teras, namun tidak mengubah nilai secara dominan pada HRU yang memiliki nilai sedimen yang tinggi maupun pada wilayah yang memiliki limpasan permukaan yang tinggi pada kondisi normal.

Pengaruh adanya konservasi juga terlihat pada daur hidrologi yang terjadi. Adanya model konservasi dapat mengubah nilai dari proses hidrologi yang terjadi. Konservasi *filter strip* terlihat mampu menurunkan nilai limpasan permukaan dengan cukup besar dan mengubah air hujan cenderung menjadi air tanah. Konservasi *filter strip* yang digunakan mampu untuk memperlambat air limpasan sehingga air cenderung bergerak ke dalam permukaan tanah. Hal ini tentu akan menyebabkan pula adanya ketersediaan sumber daya air yang cukup melimpah bagi tanaman sekitar (USDA). Konservasi teras terlihat tidak memiliki perubahan yang cukup besar melalui proses hidrologi yang terjadi, namun secara umum terlihat pula adanya penurunan nilai limpasan permukaan dan peningkatan infiltrasi dan perkolasi.

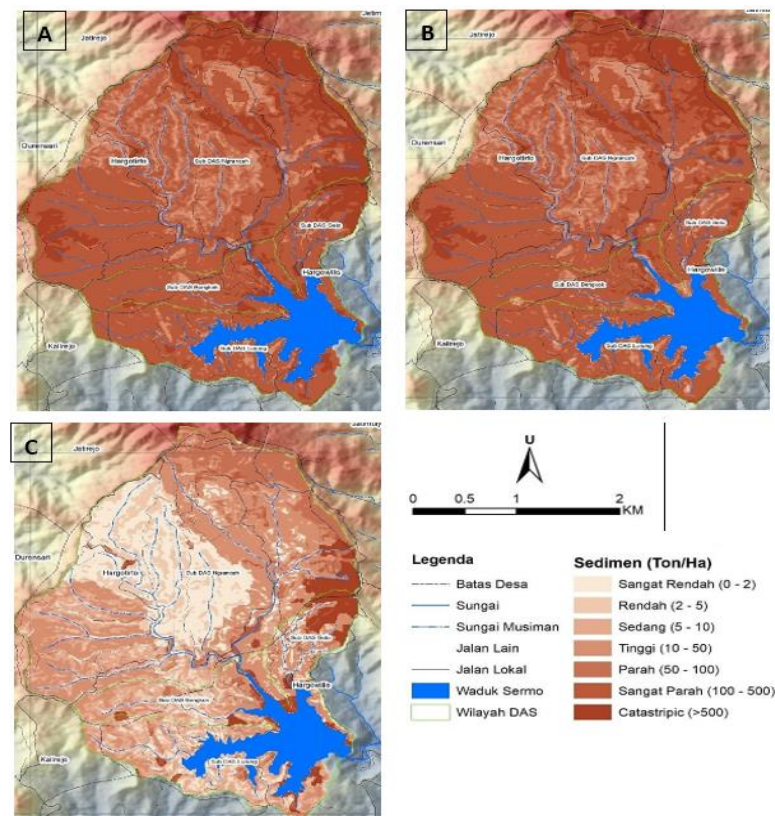
Berdasarkan data dari setiap sub-das dari DAS Ngrancah terlihat jika diperkirakan pada Sub-DAS Gelo menyumbangkan nilai erosi dan sedimentasi yang cukup besar pada DAS Ngrancah. Hal ini dikarenakan penggunaan lahan tegalan yang berada dalam Sub-DAS ini memiliki nilai sedimentasi yang cukup besar ditambah dengan faktor kemiringan lereng yang cukup terjal dan kondisi tanah yang memiliki tingkat erodibilitas yang tinggi. Penggunaan lahan yang dominan berupa lahan kebun dan tegalan menyebabkan nilai erosi dan sedimentasi meningkat.

Arahan kebijakan terkait penanganan masalah sedimentasi pada suatu DAS tidak hanya terbatas pada metode konservasi saja. Diperlukan pula adanya kemitraan dengan masyarakat sekitar agar dapat melakukan penjagaan terkait kondisi lahan dengan lebih baik. Masyarakat merupakan pengguna langsung dari manfaat yang berada di DAS, oleh

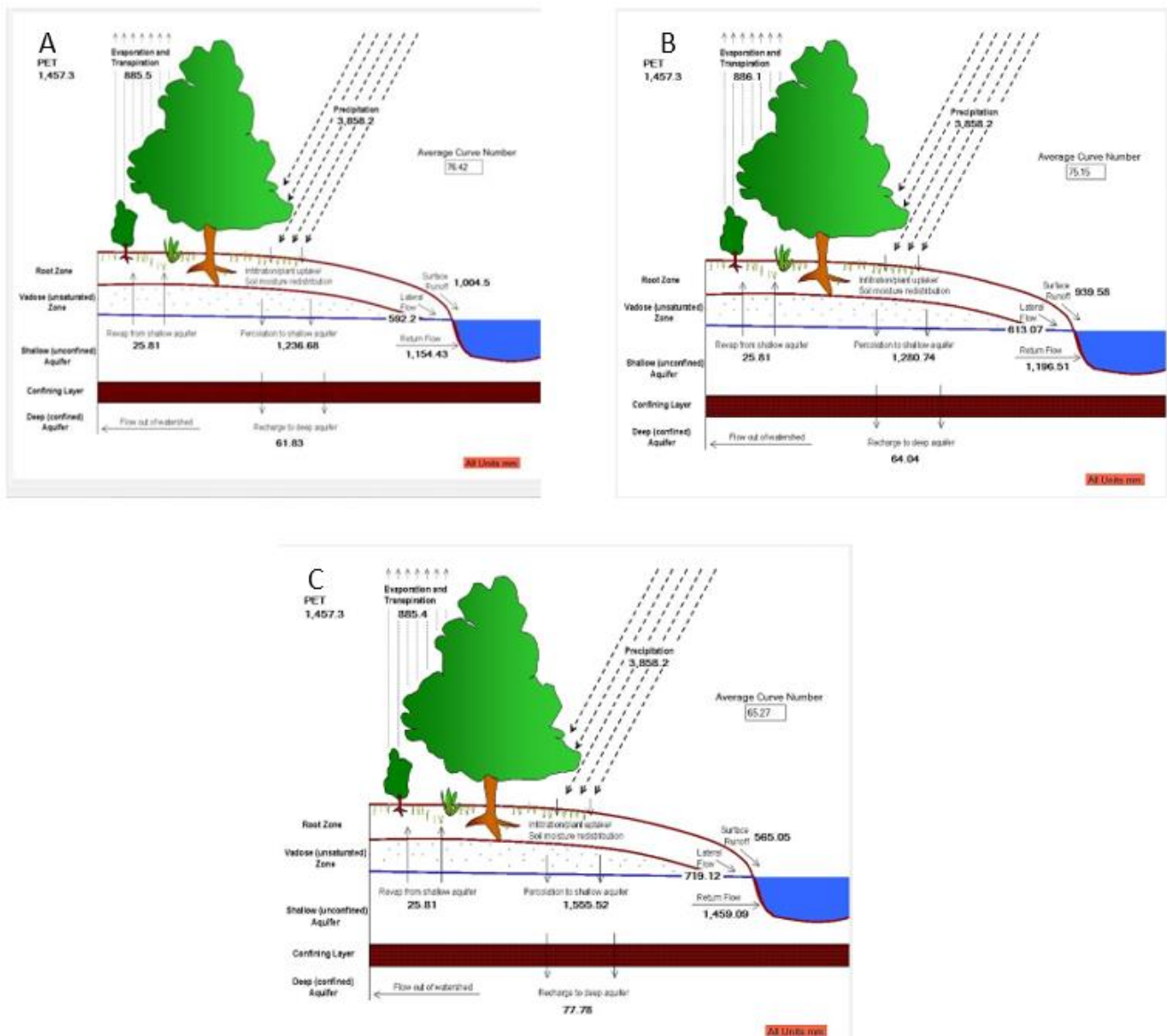
karena itu masyarakat sekitar perlu dibina dan didampingi agar mampu membantu untuk melakukan kegiatan pelestarian fungsi DAS.

Pengolahan data terkait dengan fungsi hidrologi dan sedimentasi dalam penelitian ini masih bisa dikembangkan lebih lanjut. Diperlukan adanya validasi dan kalibrasi untuk mengetahui keakuratan model yang digunakan. Data yang digunakan dalam penelitian ini masih cenderung menggunakan data yang memiliki skala besar, sehingga hasil permodelan SWAT dapat dikatakan memiliki hasil yang cenderung *overestimated*. Oleh karena itu diperlukan pula pengamatan langsung di lapangan untuk mengetahui terkait karakteristik data terkait aspek masukan untuk permodelan SWAT dan dapat untuk melakukan validasi dan kalibrasi model yang digunakan. Berdasarkan hal ini dapat dikatakan hasil analisis yang dilakukan pada penelitian ini masih bersifat perkiraan dengan menggunakan data sekunder.

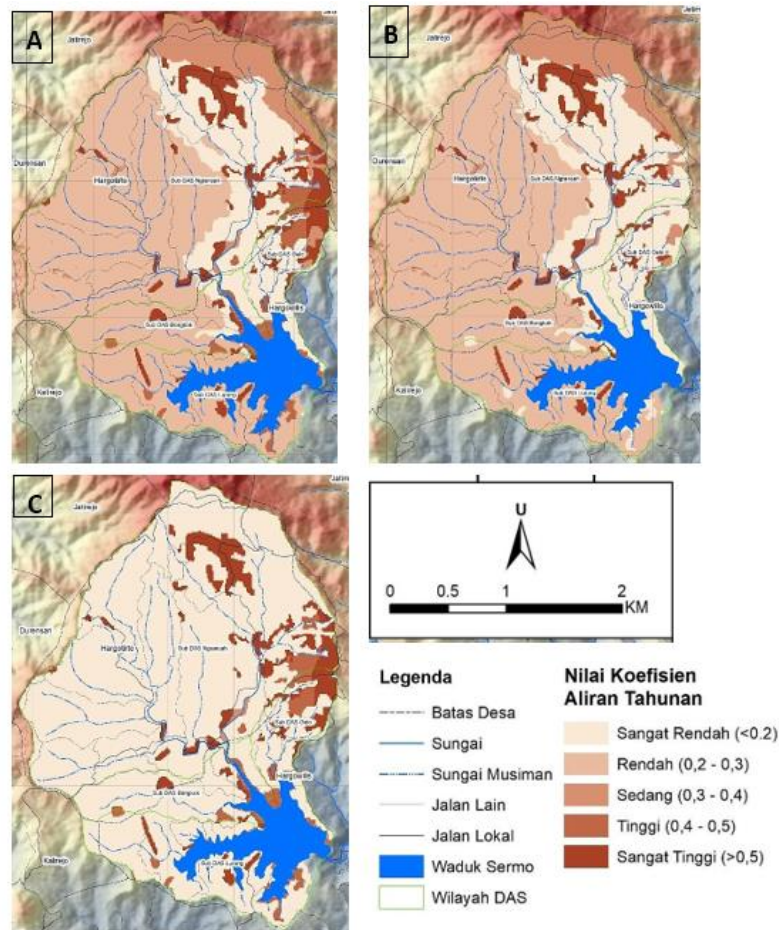
Melalui permodelan SWAT ini dapat diketahui jika penggunaan model SWAT dapat digunakan untuk mengidentifikasi terkait kondisi hidrologi pada suatu DAS. Hal ini dikarenakan dalam hasil akhir SWAT dapat diarahkan untuk mengidentifikasi terkait kondisi DAS melalui parameter yang terjadi langsung di lapangan. Secara umum model dalam SWAT menilai interaksi antara kondisi lahan dan perairan pada suatu lokasi atau DAS berdasarkan kondisi lingkungan sekitar. Kondisi hidrologi lain yang dapat diketahui ialah terkait kualitas air, nutrien yang menjadi sedimen, dan lain sebagainya.



Gambar 2. (a) hasil permodelan SWAT pada parameter sedimentasi pada Kondisi Normal; (b) hasil permodelan SWAT pada parameter sedimentasi pada kondisi yang diterapkan konservasi teras; (c) hasil permodelan SWAT pada parameter sedimentasi pada kondisi yang diterapkan konservasi *filter strips*



Gambar 3. (a) hasil permodelan SWAT terkait siklus hidrologi pada Kondisi Normal; (b) hasil permodelan SWAT terkait siklus hidrologi pada kondisi yang diterapkan konservasi teras; (c) hasil permodelan SWAT terkait siklus hidrologi pada kondisi yang diterapkan konservasi *filter strips*



Gambar 4. (a) hasil permodelan SWAT pada parameter Koefisien Aliran Tahunan (KAT) pada Kondisi Normal; (b) hasil permodelan SWAT pada parameter Koefisien Aliran Tahunan (KAT) pada kondisi yang diterapkan konservasi teras; (c) hasil Permodelan SWAT pada parameter Koefisien Aliran Tahunan (KAT) pada kondisi yang diterapkan konservasi *filter strips*

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Hasil dari penelitian menunjukkan jika proses hidrologi pada DAS Ngrancah cenderung mengubah masukan air hujan menjadi air tanah dengan proses infiltrasi dan perkolasi yang dominan. Adanya konservasi menyebabkan nilai limpasan permukaan menurun dan meningkatkan jumlah air yang mengalami infiltrasi.
2. Hasil perkiraan nilai sedimentasi secara umum pada DAS Ngrancah adalah sekitar 200 ton/ha/tahun dengan nilai Koefisien Aliran Tahunan (KAT) sekitar 0,3.
3. Kegiatan konservasi teras terlihat memiliki estimasi pengurangan nilai yang signifikan, sedangkan konservasi *filter strip* mengurangi nilai sedimen yang tidak sebesar konservasi teras namun secara spasial konservasi *filter strip* dapat diterapkan pada berbagai penggunaan lahan sehingga mampu menurunkan nilai erosi dan sedimentasi secara lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- Barkach, J. H., Miller, C. J., Selegean, J. P., & Bradley, E. A. (2020). Comparison of watershed sediment delivery estimates of 60 Michigan rivers using the USACE Great Lakes regional trend line and the Syvitski and Milliman global BQART equation. *Journal of Hydrology*, 582, 124460.
- Bisht, S., Chaudhry, S., Sharma, S., & Soni, S. (2018). Assessment of flash flood vulnerability zonation through Geospatial technique in high altitude Himalayan watershed, Himachal Pradesh India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 35–47.
- Christanto, N., Setiawan, M. A., Nurkholis, A., Istiqomah, S., Sartohadi, J., & Hadi, M. P. (2018). Analisis Laju Sedimen DAS Serayu Hulu dengan Menggunakan Model SWAT. *Majalah Geografi Indonesia*, 32(1), 50.
- Davenport, T. E. (2002). *The Watershed Project Management Guide*. CRC Press
- Ghafari, H., Gorji, M., Arabkhedri, M., Roshani, G. A., Heidari, A., & Akhavan, S. (2017). Identification and prioritization of critical erosion areas based on onsite and offsite effects. *Catena*, 156, 1–9.
- Gregersen, H. M., Ffolliott, P. F., & Brooks, K. N. (2007). *Integrated Watershed Management: Connecting People to Their Land and Water*, CAB International
- Heryani, N., & Sutrisno, N. (2012). Land Use Planning in Catchment Area of Batutegi Reservoir to Reduce Sedimentation. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 6, 23–32.
- Lal, R. (2000). Integrated Watershed Management in the Global Ecosystem. In *Soil and Water Conservation Society*. CRC Press.
- Lin, B., Chen, X., & Yao, H. (2020). Threshold of sub-watersheds for SWAT to simulate hillslope sediment generation and its spatial variations. *Ecological Indicators*, 111(8), 106040.
- Morgan, R. P. . (2005). *Soil Erosion and Conservation* (Vol. 3rd). Blackwell Publishing.
- Neitsch, S., Arnold, J., Kiniry, J., & Williams, J. (2011). *Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*. Texas Water Resources Institute
- 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, February*, 1–28.
- Sudarmadji, & Widyastuti. (2014). Dampak dan Kendala Wisata Waduk Sermo dari Aspek Lingkungan Hidup dan Risiko Bencana. *Jurnal Teknosains*, 3(2), 142–157.