

The Use of SWAT Model to predict Erosion and Sediment in the catchment area of Lake Tondano

Johan Rombang^{1*}, Josephus Kalangi¹, Meity Rantung²

¹Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

²Program Studi Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

*Corresponding author: jrombang@gmail.com

ABSTRACT

The Use of SWAT Model to Predict Erosion and Sediment in the Catchment Area of Lake Tondano. The objective of this research is to assess the accuracy of SWAT model to predict erosion and sediment in the catchment area of lake Tondano. A comprehensive hydrological model of SWAT is one of several models available to predict erosion dan sediment load. The validation of this model would be tested and it would be acceptable if *Nash-Sutcliffe model Efficiency* (NSE) coefficient was equal or greater than 0.4. The results in this experiment showed that values of NSE coefficient between sediment load observed and predicted by SWAT were between 0.4 and 0.9. Therefore, the use of SWAT model to predict erosion dan sediment in Tondano lake catchment area is satisfying and very good.

Keywords: Catchment area; erosion; sedimentation; Soil Water Assesment Tool

Penggunaan Model SWAT untuk Prediksi Erosi dan Sedimen di Area Tangkapan Air Danau Tondano

ABSTRAK

Penggunaan Model SWAT untuk Prediksi Erosi dan Sedimen di Area Tangkapan Air Danau Tondano. Penelitian ini bertujuan menguji keakuratan model SWAT dalam menduga erosi dan sedimen di area tangkapan air danau Tondano. SWAT (*Soil Water Assesment Tool*) merupakan model hidrologi yang komprehensif karena mempertimbangkan kondisi biofisik, iklim dan manajemen area tangkapan air dalam prediksi erosi dan sedimen. Penggunaan model SWAT untuk pendugaan erosi dan sedimen di area tangkapan air danau Tondano dapat diterima apabila hasil validasi sedimen terukur dan sedimen pendugaan menunjukkan koefisien *NSE* (*Nash-Sutcliffe model Efficiency*) lebih besar atau sama dengan 0,4. Penelitian ini menunjukkan bahwa model SWAT bisa digunakan untuk prediksi erosi dan sedimentasi di area tangkapan air danau Tondano karena koefisien *NSE* yang diperoleh pada 4 sungai yang bermuara di danau Tondano berkisar antara 0,4 sampai 0,9. Dengan demikian, pendugaan erosi dan sedimen di area tangkapan air danau Tondano dengan model SWAT dapat memberikan hasil yang memuaskan sampai sangat baik.

Kata kunci: Area tangkapan air; erosi; sedimentasi; Soil Water Assesment Tool

(Article History: Received 13-10-2022; Accepted 20-10-2022; Published 21-10-2022)

PENDAHULUAN

Danau Tondano berada di Kabupaten Minahasa dan merupakan tempat kehidupan bagi masyarakat di sekitarnya termasuk menunjang kehidupan penduduk kota Manado dan sekitarnya yaitu sebagai sumber air minum masyarakat, sumber air baku PDAM kota Manado dan Tondano, sumber pembangkit listrik (PLTA) Tanggari dan Tonsea Lama, sumber irigasi, perikanan darat dan objek wisata. Masukan air danau Tondano berasal dari beberapa sungai besar

maupun sungai kecil yang sebagian besar merupakan sungai intermitten (sungai musiman). Perkembangan penduduk di sekitar danau Tondano merubah lingkungan sekitar danau untuk kepentingannya. Perubahan penggunaan lahan tersebut menyebabkan penurunan kualitas perairan danau yang timbul akibat terjadi erosi dan sedimentasi di area tangkapan air danau Tondano.

SWAT (*Soil Water Assesment Tool*) adalah model hidrologi yang dikembangkan

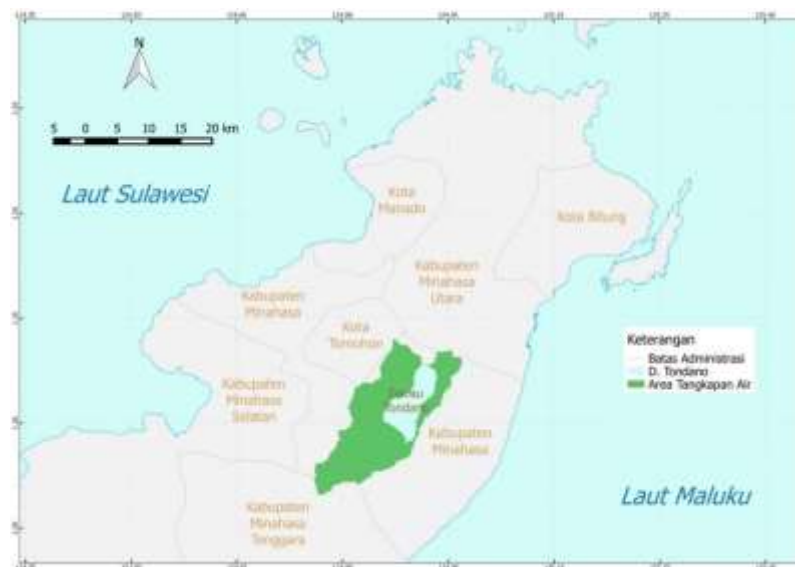
oleh Dr. Jeff Arnold pada awal tahun 1990-an untuk pengembangan *Agricultural Research Service* (ARS) dari USDA (Neitsch *et al.*, 2011; Arnold *et al.*, 2012) dan digunakan untuk prediksi dampak dari manajemen lahan pertanian terhadap air, sedimentasi dan jumlah bahan kimia, pada suatu area DAS yang kompleks dengan mempertimbangkan variasi jenis tanahnya, tata guna lahan, serta kondisi manajemen suatu DAS. Beberapa penelitian di berbagai negara dengan menggunakan model SWAT telah dilakukan di Amerika Latin (Stehr *et al.*, 2008), di Eropa (Epelde *et al.*, 2015), di Afrika (Zettam *et al.*, 2017), di Asia (Bieger *et al.*, 2015), (Nguyen & Nguyen, 2014) dan di Indonesia (Rahmad & Nurman, 2017). Penggunaan model SWAT di Indonesia menunjukkan bahwa model ini mampu mensimulasi proses hidrologi di area tangkapan air waduk Mrica dengan koefisien $NSE > 0,65$ (Hidayat *et al.*, 2017) dan di DAS Serayu Hulu dengan koefisien determinasi $> 0,5$ (Christanto *et al.*, 2018). Keterbatasan penggunaan model ini dalam penelitian hidrologi suatu daerah aliran sungai di Indonesia lebih disebabkan karena kebutuhan data untuk menjalankan model SWAT relatif banyak dan umumnya belum tersedia untuk sebagian besar daerah aliran sungai di Indonesia. Penelitian ini bertujuan menguji keakuratan model SWAT dalam menduga erosi dan sedimen di area tangkapan air danau Tondano.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Data

Penelitian ini dilaksanakan mulai Februari 2021 sampai dengan Oktober 2021 di area tangkapan air Danau Tondano kabupaten Minahasa (Gambar 1).

Pengumpulan data berupa data primer dan sekunder disesuaikan dengan masukan data (input) yang diperlukan model SWAT. Pengumpulan data primer dilakukan dengan survey tentang kondisi tutupan lahan dan teknologi konservasi yang diterapkan. Data sekunder yang diperlukan di antaranya data DEM (*digital elevation model*), data curah hujan, peta jaringan sungai, peta penggunaan lahan dan peta jenis tanah termasuk didalamnya beberapa sifat fisik dan kimia tanah telah tersedia dari hasil-hasil penelitian sebelumnya. Sebagian data tersebut telah diperbaharui dengan hasil pengukuran dan observasi di lapang saat pelaksanaan penelitian. Peta penggunaan lahan yang digunakan bersumber dari BPKH Wilayah VI Manado tahun 2018 skala 1:50.000 yang telah diperbaharui dengan hasil digitasi citra Google tahun 2019 sedangkan peta jenis tanah bersumber dari peta Repprot skala 1:250.000.



Gambar 1. Lokasi Area Tangkapan Air Danau Tondano di Provinsi Sulawesi Utara

Pengukuran Sedimen

Terdapat 5 sungai yang bermuara dan mengalirkan air sepanjang tahun ke danau Tondano tapi hanya 4 sungai yang bisa diuji dengan model SWAT karena satu muara sungai telah dimodifikasi menjadi beberapa outlet sistem irigasi. Ke 4 sungai tersebut terdiri atas: (1) sungai yang bermuara di desa Papakelan selanjutnya disebut sungai Papakelan, (2) sungai yang bermuara di desa

Remboken selanjutnya disebut sungai Remboken, (3) sungai yang bermuara di desa Tountimomor selanjutnya disebut sungai Tountimomor dan (4) sungai yang bermuara di desa Kakas selanjutnya disebut sungai Kakas.

Pada 4 aliran sungai tersebut, telah dilakukan pengukuran debit dan pengambilan sampel air untuk analisis kandungan sedimen terangkut. Laju aliran air di setiap sungai diukur dengan *current meter flowatch* FL-03. Hasil perkalian debit aliran harian dan konsentrasi sedimen terangkut pada hari pengambilan sampel merupakan data sedimen terangkut harian hasil observasi. Pengukuran dan pengambilan sampel air ini dilakukan pada saat musim hujan sebanyak 8 kali sehingga diperoleh 8 data observasi sedimen terangkut harian.

Pendekatan Modelling

Pemodelan SWAT menggunakan software *QSWAT* 2.6.0 sampai pada tingkat unit respon hidrologi (HRU). Evaluasi keakuratan model pada tingkat HRU ini

sangat direkomendasikan (Bieger *et al.*, 2015).

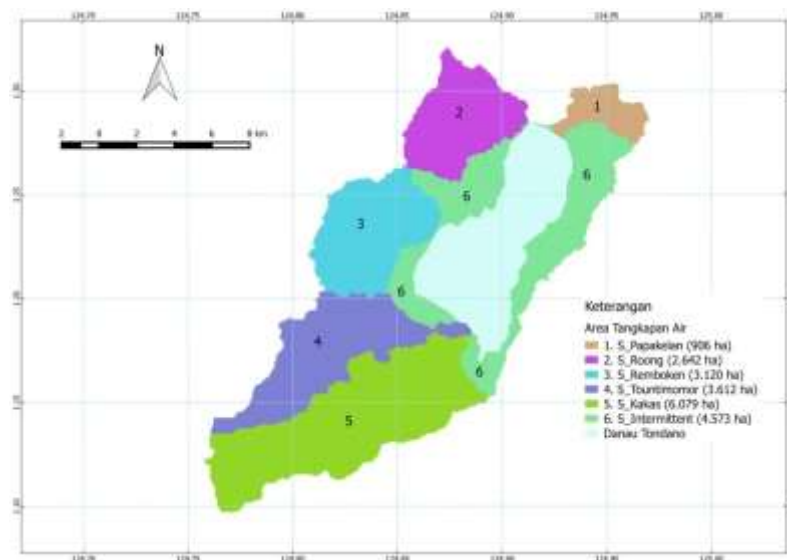
Pemodelan area tangkapan sungai Papakelan menggunakan batasan sub-das 25 ha dan HRU 25% landuse, 40% tanah, 25% kemiringan lereng. Untuk area tangkapan sungai-sungai Kakas, Tountimomor, dan Remboken dilakukan pemodelan sub-das dengan batasan 100 ha dan pembatasan unit respon hidrologi 25% landuse, 40% tanah, 25% kemiringan lereng. Area tangkapan air dari 4 sungai tersebut ditunjukkan dalam gambar 2.

Kalibrasi Model

Tahapan kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan nilai pendugaan sedimen terangkut mendekati nilai sedimen terangkut hasil pengamatan. Kalibrasi tersebut dilakukan dengan menyesuaikan tipe penggunaan lahan dan beberapa sifat fisik tanah pada model dengan hasil pengukuran dan pengamatan langsung di lapang.

Validasi Model

Validasi model SWAT dilakukan dengan menghitung koefisien *NSE* (*Nash-Sutcliffe model Efficiency coefficient*) dan koefisien determinasi (R^2) antara data sedimen terangkut hasil prediksi dan hasil observasi/pengukuran di lapangan. Walaupun (Moriassi *et al.*, 2007) menganjurkan bahwa suatu model hidrologi dapat diterima apabila *NSE* bernilai antara 0 dan 1 serta $R^2 > 0,5$, dalam penelitian ini model ditolak jika $NSE < 0,4$ dan $R^2 < 0,5$.

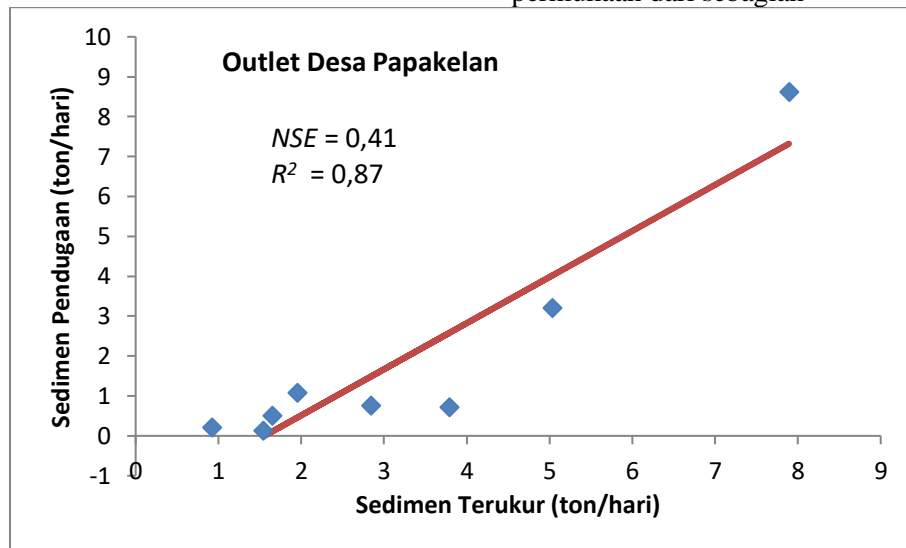


Gambar 2. Area tangkapan air sungai-sungai yang bermuara di Danau Tondano (sungai Intermittent adalah sungai yang hanya mengalirkan air di musim hujan)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi sedimen terangkut dengan model SWAT dan sedimen terukur yang dilakukan pada 4 sungai yang bermuara di danau Tondano menunjukkan hasil yang baik

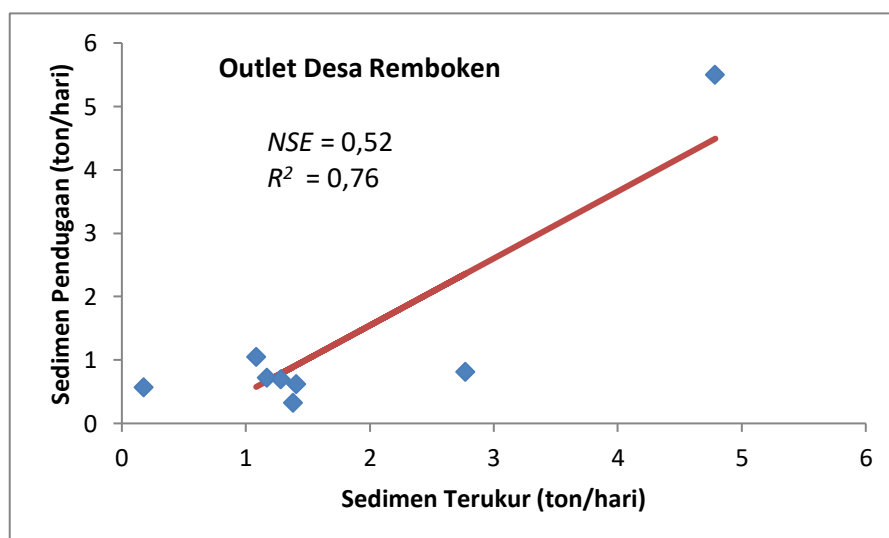
sampai memuaskan ($0,4 < NSE < 0,94$) (Gambar 3, 4, 5 dan 6). Koefisien NSE hasil kalibrasi di sungai Papakelan merupakan yang terendah dibandingkan dengan hasil kalibrasi di 3 sungai lainnya karena aliran permukaan dari sebagian



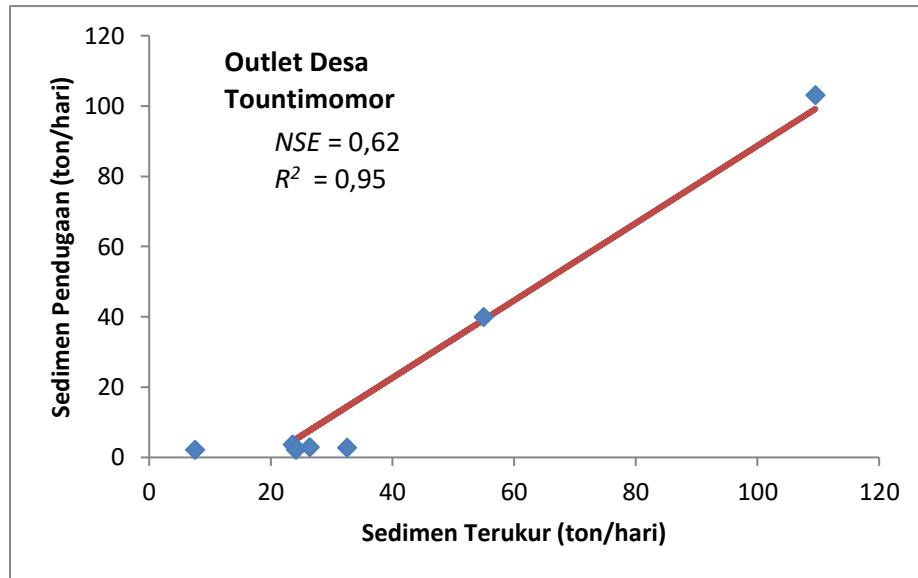
Gambar 3. Hasil kalibrasi sedimen terukur dan sedimen pendugaan yang dihasilkan model SWAT di outlet desa Papakelan

area permukiman telah dilewatkan melalui sistem drainase tersendiri dan tidak masuk atau menyatu kembali dengan aliran sungai Papakelan. Kondisi yang hampir sama juga ditemukan pada aliran sungai Remboken. Walaupun koefisien NSE sungai Papakelan masih lebih kecil dari 0,5, hasil kalibrasi

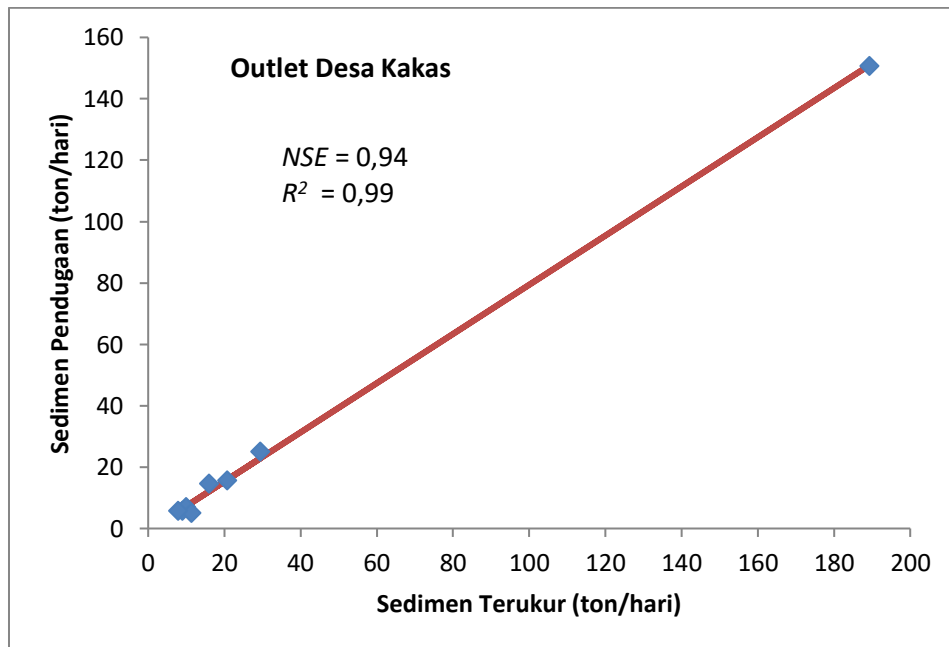
menunjukkan koefisien determinasi (R^2) yang relatif tinggi yaitu 0,82 sehingga model SWAT bisa digunakan untuk prediksi erosi dan sedimen di area tangkapan air sungai Papakelan.



Gambar 4. Hasil kalibrasi sedimen terukur dan sedimen pendugaan yang dihasilkan model SWAT di outlet desa Remboken



Gambar 5. Hasil kalibrasi sedimen terukur dan sedimen pendugaan yang dihasilkan model SWAT di outlet desa Tountimomor



Gambar 6. Hasil kalibrasi sedimen terukur dan sedimen pendugaan yang dihasilkan model SWAT di outlet desa Kakas

Kalibrasi sedimen terukur (teramati) dan sedimen pendugaan yang relatif agak rendah yang diperoleh dalam modeling sedimen di sungai Papakelan dan sungai Remboken disebabkan outlet sungai di 2 desa tersebut tidak sesuai lagi dengan kondisi alami tapi telah disesuaikan dengan kondisi jaringan irigasi. Walaupun demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model SWAT dapat digunakan untuk prediksi

sedimen terangkut di area tangkapan danau Tondano karena koefisien NSE sedimen terangkut yang diperoleh untuk 4 area tangkapan tersebut masih lebih besar dari batas yang ditetapkan ($NSE > 0,4$). Koefisien NSE untuk validasi data pengukuran harian yang diperoleh dengan model SWAT ini sudah termasuk cukup baik karena beberapa penelitian dengan model SWAT menghasilkan juga koefisien NSE sekitar 0,6

(Singh *et al.*, 2014; Zhu *et al.*, 2016) dan hasil penelitian (Cambien *et al.*, 2020) menunjukkan bahwa koefisien *NSE* biasanya meningkat untuk validasi data pengukuran dengan periode yang lebih panjang seperti bulanan atau tahunan. Yang perlu diperhatikan bahwa secara keseluruhan, hasil pendugaan sedimen terangkut dengan model SWAT relatif lebih rendah dari sedimen terukur terutama pada saat curah hujan harian lebih kecil dari 15 mm/hari. Disamping itu, penggunaan data curah hujan yang hanya berasal dari satu stasiun pengamatan untuk prediksi erosi dan sedimen terangkut di area tangkapan air danau Tondano yang relatif sangat luas dapat menyebabkan penurunan akurasi akibat sering terjadinya curah hujan yang tidak merata. Kendala keterbatasan stasiun pengamatan curah hujan ini juga telah dikemukakan oleh beberapa peneliti (Dai & Qin, 2019 ; Ferijal, 2013; Raihan *et al.*, 2020).

KESIMPULAN

Model SWAT dapat digunakan untuk prediksi erosi dan sedimen di area tangkapan air danau Tondano dengan koefisien *NSE* berkisar antara 0,4 sampai 0,9 (memuaskan sampai sangat baik).

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, J.G., Moriasi, D.N., Gassman, P.W., Abbaspour, K.C., White, M.J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R. D., van Griensven, A., Liew, M. W. van, Kannan, N., & Jha, M.K. 2012. SWAT: Model Use, Calibration and Validation. *Transactions of the ASABE*, **55(4)**, 1491–1508. <http://swatmodel.tamu.edu>.
- Bieger, K., Hörmann, G., & Fohrer, N. 2015. Detailed spatial analysis of SWAT-simulated surface runoff and sediment yield in a mountainous watershed in China. *Hydrological Sciences Journal*, **60(5)**, 784–800. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.965172>.
- Cambien, N., Gobeyn, S., Nolivos, I., Forio, M. A. E., Arias-Hidalgo, M., Dominguez-Granda, L., Witing, F., Volk, M., & Goethals, P. L. M. 2020. Using the Soil and Water Assessment Tool to Simulate the Pesticide Dynamics in the Data Scarce Guayas River Basin, Ecuador. *Water*, **12(3)**, 1–21. <https://doi.org/10.3390/w12030696>.
- 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)**, 50–58. <https://doi.org/10.22146/mgi.32280>.
- Dai, C., & Qin, X. S. 2019. Assessment of the effectiveness of a multi-site stochastic weather generator on hydrological modelling in the Red Deer River watershed, Canada. *Hydrological Sciences Journal*, **64(13)**, 1616–1628. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1661416>.
- Epelde, A. M., Cerro, I., Sánchez-Pérez, J. M., Sauvage, S., Srinivasan, R., & Antigüedad, I. 2015. Application of the SWAT model to assess the impact of changes in agricultural management practices on water quality. *Hydrological Sciences Journal*, **60(5)**, 1–19. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.967692>.
- Ferijal, T. 2013. Aplikasi Model SWAT Untuk Mensimulasikan Debit Sub DAS Krueng eulesong Menggunakan Data Klimatologi Aktual dan Data Klimatologi Hasil Perkiraan. *Rona Teknik Pertanian*, **6(1)**, 398–404.
- Hidayat, L., Sudira, P., Susanto, S., & Jayadi, R. 2017. Validasi Model Hidrologi SWAT di Daerah Tangkapan Air Waduk Mrica (Validation of The SWAT Hydrological Model on The Catchment Area of Mrica Reservoir). *Agritech*, **36(4)**, 467–474. DOI: 10.22146/agritech.16772.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel R.D., & Veith. T.L. 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, **50(3)**, 885–900.

- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams J.R. 2011. Soil and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation. Water Resources Institute.
- Nguyen, B.N., & Nguyen, H.K.L. 2014. Basin resources management: simulating soil erosion risk by soil and water assessment tool (SWAT) in Ta Trach river watershed, central Vietnam. *Journal of Vietnamese Environment*, **6(2)**, 165–170. DOI: 10.13141/jve.vol6.no2.pp165-170.
- Rahmad, R., & Nurman, A. 2017. Integrasi Model SWAT dan SIG dalam Upaya Menekan Laju Erosi DAD Deli, Sumatera Utara. *Majalah Geografi Indonesia*, **31(1)**, 46–55. <https://doi.org/10.22146/mgi.24232>.
- Raihan, F., Beaumont, L. J., Maina, J., Saiful Islam, A., & Harrison, S. P. (2020). Simulating streamflow in the Upper Halda Basin of southeastern Bangladesh using SWAT model. *Hydrological Sciences Journal*, **65(1)**, 138–151. DOI: 10.1080/02626667.2019.1682149.
- Singh, A., Imtiyaz, M., Isaac, R. K., & Denis, D. M. 2014. Assessing the performance and uncertainty analysis of the SWAT and RBNN models for simulation of sediment yield in the Nagwa watershed, India. *Hydrological Sciences Journal*, **59(2)**, 351–364.
- Stehr, A., Debels, P., Romero, F., & Alcayaga, H. 2008. Hydrological modelling with SWAT under conditions of limited data availability: evaluation of results from a Chilean case study. *Hydrological Sciences Journal*, **53(3)**, 588–601. DOI: 10.1623/hysj.53.3.588.
- Zettam, A., Taleb, A., Sauvage, S., Boithias, L., Belaidi, N., & Sánchez-Pérez, J. 2017. Modelling Hydrology and Sediment Transport in a Semi-Arid and Anthropized Catchment Using the SWAT Model: The Case of the Tafna River (Northwest Algeria). *Water*, **9(3)**, 216. DOI:10.3390/w9030216.
- Zhu, Q., Zhang, X., Ma, C., Gao, C., & Xu, Y.-P. 2016. Investigating the uncertainty and transferability of parameters in SWAT model under climate change. *Hydrological Sciences Journal*, **61(5)**, 1–17. DOI:10.1080/02626667.2014.1000915.