

PEMODELAN DEBIT SUNGAI MENGGUNAKAN *SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL* DI SUBDAS MAMASA

Modelling River Discharge Using Soil and Water Assessment Tool in Mamasa Sub-watershed

^{1*}Irlan, ¹Widyanti Utami A, ¹Rosmaeni, ²Andi Khairil A. Samsu, ¹Daud Irundu, ³Emban Ibnurusyd Mas'ud

¹Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat

²Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Peternakan dan Kehutanan, Universitas Muslim Maros

³Departemen Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin

*institusi penulis

(corresponding author, email: irlan@unsulbar.ac.id)

ABSTRACT

Issues related to watershed have received primary attention in the past few decades. The hydrological conditions of the watershed area are considered crucial as a source of life. In efforts to achieve sustainable watershed management, understanding the complex hydrological dynamics is very important. The objective of this research is to simulate river discharge using the Soil and Water Assessment Tools (SWAT) model. This study was conducted in the Mamasa Sub-watershed area. The results show that the river discharge in the Mamasa Sub-watershed has increased as it approaches the outlet (downstream) through the accumulation of discharge in larger order rivers. The Mamasa Sub-watershed also experiences a trend of increasing average annual discharge at a rate of 0.74 m³/s per year. Improvement in the discharge simulation results was achieved through a calibration process using 11 parameters. The calibration results indicate that the calibrated discharge has a higher R² value compared to the initial simulation discharge, showing that the model calibration successfully improved the quality of the expected discharge results to reach 79.50 percent. However, the calibration results still have a low R² value, influenced by the selection of appropriate parameters and accurate observational data.

Keywords: Modeling, River discharge, SWAT, Watershed

ABSTRAK

Isu terkait Daerah aliran sungai (DAS) telah mendapat perhatian utama dalam beberapa dekade terakhir. Kondisi hidrologi wilayah DAS dinilai sangat berperan penting sebagai sumber kehidupan. Dalam upaya mewujudkan pengelolaan DAS yang berkelanjutan, pemahaman terhadap dinamika hidrologi yang rumit merupakan hal yang sangat penting. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan simulasi debit air sungai menggunakan model *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT). Penelitian ini dilakukan di wilayah SubDAS Mamasa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit sungai SubDAS Mamasa mengalami peningkatan pada jaringan sungai yang semakin mendekati *outlet* (hilir) melalui akumulasi debit pada ordo sungai yang lebih besar. SubDAS Mamasa juga mengalami tren peningkatan debit rata-rata tahunan dengan laju sebesar 0,74 m³/s per tahun. Perbaikan hasil debit simulasi

dilakukan melalui proses kalibrasi dengan menggunakan 11 parameter. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa debit hasil kalibrasi memiliki nilai R^2 yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan debit simulasi awal. Hal ini menunjukkan bahwa kalibrasi model yang dilakukan berhasil meningkatkan kualitas hasil debit yang diharapkan hingga mencapai 79,50 persen. Namun hasil kalibrasi tersebut masih memiliki R^2 yang masih rendah. Rendahnya nilai R^2 dipengaruhi oleh pemilihan parameter yang tepat, kualitas data observasi dan resolusi DEM yang digunakan dalam pemodelan.

Keywords: Pemodelan, Debit, SWAT, DAS

PENDAHULUAN

Daerah aliran sungai (DAS) telah menjadi fokus utama dalam isu lingkungan hidup karena dinilai berperan penting sebagai sumber kehidupan. Dalam upaya mewujudkan pengelolaan DAS yang berkelanjutan, pemahaman terhadap dinamika DAS yang kompleks merupakan hal yang sangat penting (Narendra et al., 2021). Di Indonesia, pengelolaan DAS menjadi salah satu bagian penting karena tergabung dalam rencana pembangunan nasional (Pambudi, 2019).

Kondisi DAS yang terus mengalami perubahan, baik itu didorong oleh faktor pertumbuhan penduduk, perubahan penggunaan lahan, dan variabilitas iklim, dibutuhkan kemampuan dan metode yang tepat untuk memodelkan kondisi hidrologi yang tepat. Salah satu alat yang dapat digunakan untuk pemodelan kuantitas dan kualitas sumber daya air DAS adalah *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT) (Al Khoury et al., 2023). Alat ini menawarkan cara untuk mensimulasikan dan menganalisis interaksi yang kompleks antara penggunaan lahan, sifat tanah, dan variabel iklim dalam suatu DAS (Aloui et al., 2023). Model SWAT terkenal dengan pendekatan integratifnya, mempertimbangkan berbagai faktor mulai dari penggunaan lahan dan jenis tanah hingga parameter iklim, sehingga dinilai lebih realistis (Loukika et al., 2022).

SubDAS Mamasa merupakan Daerah Tangkapan Air Waduk Bakaru yang menjadi sumber air bagi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Bakaru. (Isra et al., 2023). Pembangkit Listrik Tenaga Air

Bakaru menyuplai energi listrik untuk Sulawesi Selatan sebesar 126 MW atau 30 persen kebutuhan energi listrik Sulawesi Selatan (Sutrisno & Saputra, 2018). SubDAS Mamasa memiliki lahan yang telah degradasi lebih dari 80% (Hendraswari et al., 2023). Meningkatnya lahan pertanian dan perladangan berpindah untuk kakao, jagung, dan kopi telah menyebabkan degradasi lahan dan konversi hutan yang merusak, sehingga menyebabkan peningkatan laju sedimentasi di Waduk Bakaru (Isra et al., 2023).

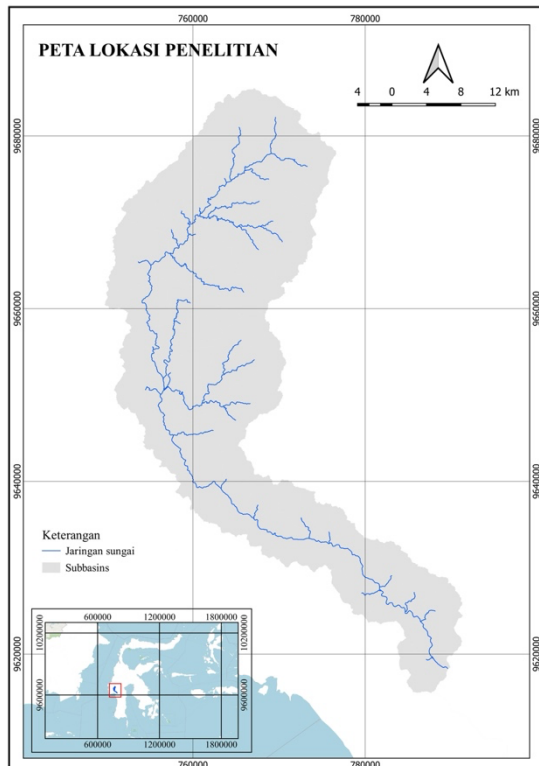
Penelitian ini bertujuan untuk membuat model debit sungai di wilayah Sub DAS Mamasa. Hal ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang rinci mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi debit air di Sub DAS Mamasa. Pemodelan ini dilakukan menggunakan model *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT) dan berfokus pada pemenuhan kebutuhan debit air untuk produksi listrik di Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Bakaru. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Bakaru ini memiliki peran strategis dalam pemenuhan kebutuhan listrik di wilayah tersebut.

METODE PENELITIAN

1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah Sub Daerah Aliran Sungai (SubDAS) Mamasa. SubDAS Mamasa menjadi bagian dari DAS Saddang, salah satu DAS terluas di Pulau Sulawesi dan melintasi dua provinsi yaitu Provinsi Sulawesi Barat dan Sulawesi Selatan. Sub DAS Mamasa

memiliki peran penting dalam pemenuhan kebutuhan air baku, irigasi dan penyuplai air untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Bakaru. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tutupan lahan tahun 2012–2021, *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS), jenis tanah, iklim (2012–2021). Secara lebih rinci, data penelitian yang digunakan telah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis dan sumber data penelitian

No.	Jenis Data	Sumber data
1.	Tutupan lahan tahun 2012 hingga 2021	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)
2.	Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS)	https://tanahair.indonesia.go.id/
3.	Jenis Tanah	Food and Agriculture Organization (FAO)
4.	Data iklim tahun 2012 hingga 2021	https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/
	• Curah hujan	

- Kelembaban relative
- Temperatur rata-rata
- Kecepatan angin
- Radiasi matahari

5. Debit aktual PLTA Bakaru

3. Penentuan Model SWAT

Soil and Water Assessment Tools (SWAT) adalah pendekatan yang telah banyak digunakan dalam menganalisis kondisi hidrologi DAS (Aloui et al., 2023). Model ini dikembangkan oleh United States Department of Agriculture (USDA) Agriculture Research Service (ARS)(Wang et al., 2019). Variabel yang digunakan didalam pemodelan debit sungai ini meliputi *Digital Elevation Model* (DEM), tutupan lahan, data tanah, data iklim seperti curah hujan, kelembaban relatif, temperature rata-rata, radiasi matahari dan kecepatan angin (de Oliveira Serrão et al., 2020).

Adapun tahapan yang dilakukan dalam pemodelan SWAT meliputi (Ainunisa et al., 2020; Nugraheni et al., 2019):

- a. Delineasi batas SubDAS, dilakukan untuk memperoleh areal SubDAS Mamasa. Selain itu, proses ini juga membagi wilayah subDAS menjadi subbasin serta membentuk jaringan sungai di dalam subDAS.
- b. Pembentukan *hydrologic response unit* (HRU), menggunakan data tutupan lahan, tanah dan kelerengan;
- c. Simulasi model SWAT, dilakukan dengan menggunakan plugin QSWAT3 pada software QGIS3.18.1.
- d. Kalibrasi model, dilakukan menggunakan software SWAT-CUP algoritma SUFI-2 (Gholami et al., 2016; Sao et al., 2020; Tejaswini & Sathian, 2018).
- e.

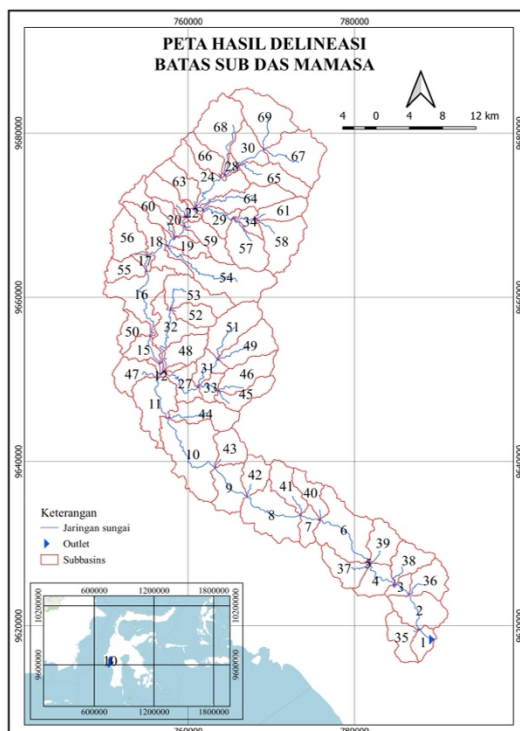
Evaluasi model dilakukan berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) (Ainunisa et al., 2020; Nugraheni et al., 2019). Koefisien determinasi menunjukkan

keeratan hubungan antara data hasil simulasi dan data observasi dengan nilai berkisar dari 0 hingga 1 (Andini et al., 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Delineasi Batas SubDAS

Hasil delineasi Batas SubDAS menunjukkan bahwa luas wilayah penelitian sebesar 105.058,26 Ha. Proses delineasi juga membagi wilayah SubDAS Mamasa menjadi 69 subbasin (Gambar 3). Selain itu, dalam tahapan ini juga diperoleh jaringan sungai. Pembuatan batas SubDAS, subbasin dan jaringan sungai sangat dipengaruhi oleh nilai elevasi areal penelitian. Nilai elevasi tertinggi pada Sub DAS Mamasa yaitu 2.884,74 mdpl dan terendah pada nilai 607,06 mdpl.

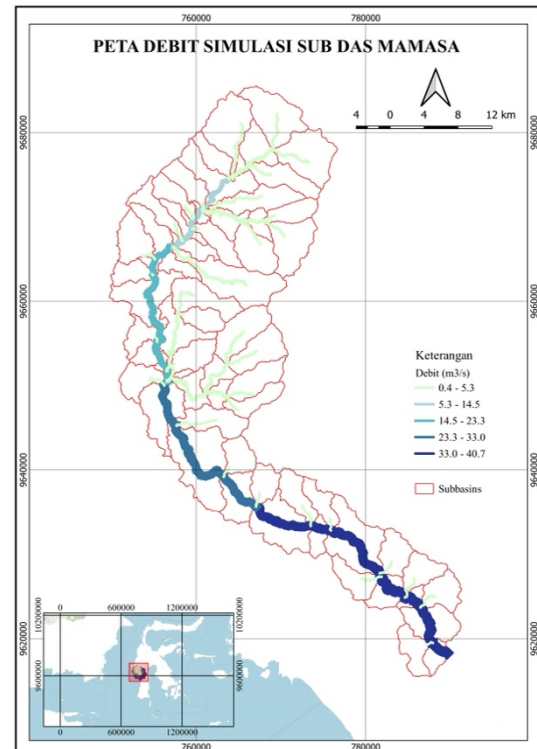


Gambar 2. Peta hasil delineasi batas SubDAS, Subbasin dan jaringan sungai wilayah SubDAS Mamasa

2. Debit Simulasi SubDAS Mamasa

Simulasi debit sungai bulanan SubDAS Mamasa dilakukan dalam jangka

waktu 10 tahun (2012-2021). Hasil simulasi menunjukkan bahwa debit rata-rata bulanan tertinggi terjadi pada Desember ($14,21 \text{ m}^3/\text{s}$). Peningkatan debit sungai SubDAS Mamasa dimulai pada November dan mulai menurun pada Januari. Hasil simulasi debit sungai SubDAS Mamasa disajikan secara detail pada Tabel 2.



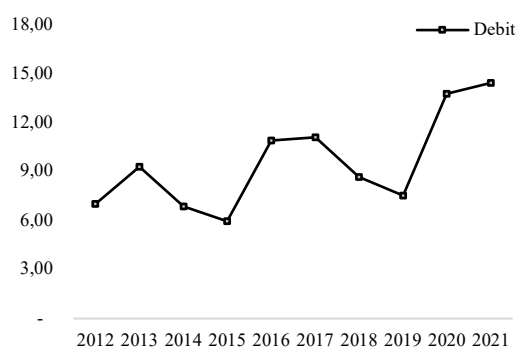
Gambar 3. Sebaran debit simulasi rata-rata bulanan SubDAS Mamasa

Secara visual, debit simulasi SubDAS Mamasa dapat dilihat pada Gambar 3. Debit sungai SubDAS Mamasa mengalami peningkatan pada jaringan sungai yang semakin mendekati *outlet* (hilir). Pada bagian hulu, debit sungai hanya sebesar $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$, sedangkan pada bagian hilir sebesar $40,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Kondisi ini menunjukkan bahwa terjadi akumulasi debit pada ordo sungai yang lebih besar yang meningkatkan jumlah debit sungai hingga 100 kali lebih tinggi.

Tabel 2. Debit simulasi bulanan SubDAS Mamasa (m^3/s) tahun 2012–2021

Tahun	Bulan												Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2012	4.69	8.34	11.94	10.15	16.02	8.56	7.86	3.25	1.04	1.26	1.76	9.54	7.03
2013	15.32	13.06	9.55	12.94	7.94	8.65	9.04	7.67	6.94	1.79	6.54	12.24	9.31
2014	11.30	6.71	6.94	9.13	10.12	6.64	9.11	4.59	0.85	3.18	3.29	10.87	6.89
2015	11.46	10.25	7.52	12.48	4.04	6.81	1.96	0.83	0.18	1.87	3.67	10.59	5.97
2016	11.32	11.42	10.19	19.16	11.88	19.90	10.13	3.49	3.35	8.76	8.43	13.15	10.93
2017	10.47	10.55	9.98	10.32	12.98	10.68	6.12	5.87	6.14	13.77	10.74	25.98	11.13
2018	16.31	15.78	11.73	12.22	5.54	8.48	4.76	1.28	1.57	4.95	5.28	16.30	8.68
2019	10.80	11.64	10.29	12.76	5.49	15.08	3.33	2.30	1.64	11.67	4.04	1.71	7.56
2020	13.13	6.79	8.54	11.08	11.76	50.43	12.55	7.51	8.75	12.60	8.17	14.26	13.80
2021	30.91	13.25	15.51	10.97	8.86	7.40	5.41	17.50	13.11	10.26	12.84	27.49	14.46
Rata-rata	13.57	10.78	10.22	12.12	9.46	14.26	7.02	5.43	4.36	7.01	6.48	14.21	9.58

Berdasarkan hasil simulasi, debit sungai rata-rata tahunan di wilayah SubDAS Mamasa juga mengalami tren peningkatan (gambar 4). Pada tahun 2012–2021, debit sungai rata-rata tahunan meningkat sebesar $7,42 \text{ m}^3/\text{s}$ (105,52%). Laju peningkatan debit sungai rata-rata tahunan SubDAS Mamasa sebesar $0,74 \text{ m}^3/\text{s}$. Kondisi ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan jumlah debit sungai SubDAS Mamasa. Degradasi lahan yang terjadi di wilayah SubDAS Mamasa (Hendraswari et al., 2023) menjadi penyebab perubahan kondisi hidrologi tersebut. (Anila et al., 2020) menjelaskan bahwa penutupan atau penggunaan lahan menjadi faktor utama yang menentukan kondisi debit sungai.



Gambar 4. Tren debit rata-rata tahunan SubDAS Mamasa

3. Debit Hasil Kalibrasi

Kalibrasi model menggunakan data debit simulasi harian dan debit observasi harian tahun 2012–2019. Terdapat 11 parameter yang digunakan dalam proses kalibrasi debit sungai SubDAS Mamasa, disajikan pada Tabel 3.

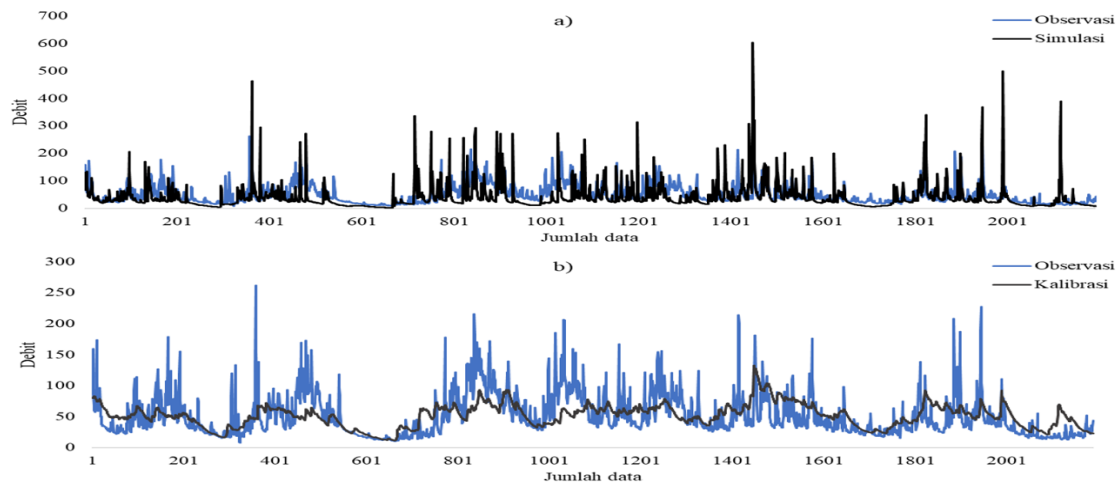
Tabel 3. Parameter kalibrasi model

Parameter	Fit	Min	Max
ALPHA_BF.gw	1.54	1.42	1.55
GW_DELAY.gw	128.43	122.19	132.17
GWQMN.gw	6,534.21	6,158.32	6,543.85
ESCO.bsn	0.83	0.83	0.84
EPCO.bsn	1.35	1.23	1.40
GW_REVAP.gw	(0.00)	(0.01)	0.01
CH_K2.rte	87.32	80.87	94.46
SHALLST.gw	31,408.93	28,277.60	33,287.72
SOL_AWC(..).sol	(1.00)	(1.01)	(0.85)
SOL_BD(..).sol	1.82	1.80	1.86
OV_N.hru	0.73	0.69	0.75

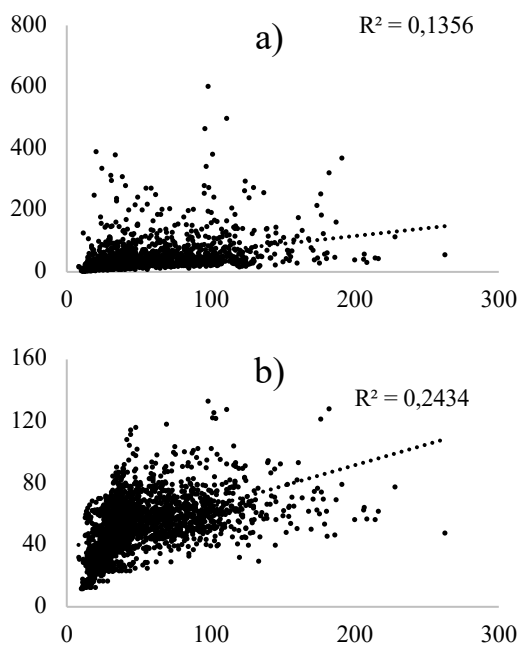
Perbandingan debit simulasi dan kalibrasi debit sungai SubDAS Mamasa dapat dilihat pada Gambar 5. Model SWAT cenderung menghasilkan debit yang terlalu tinggi pada bulan basah (*overestimate*), sebaliknya memiliki nilai debit yang terlalu rendah pada musim kering (*underestimate*). Pada bulan basah, debit simulasi harian dapat mencapai

603,10 m³/s sedangkan debit observasi harian tertinggi hanya 262,45 m³/s. Sementara itu, debit simulasi harian

terendah pada bulan kering hanya sebesar 2.89 m³/s dan debit observasi terendah sebesar 8.15 m³/s.



Gambar 5. Perbandingan debit a) simulasi dan b) kalibrasi



Gambar 6. Nilai koefisien determinasi (R^2) model debit: a) observasi-simulasi dan b) observasi-kalibrasi

Debit harian hasil kalibrasi memiliki jumlah yang cukup berbeda jika dibandingkan dengan debit observasi.

Debit harian hasil kalibrasi tertinggi sebesar 132.70 m³/s dan debit terendah sebesar 11.56 m³/s. Kondisi ini menunjukkan bahwa hasil kalibrasi memiliki prediksi yang lebih rendah (*underestimate*) pada bulan basah dan lebih tinggi (*overestimate*) pada bulan kering.

Ukuran kebaikan model dapat ditentukan berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) (Ainunisa et al., 2020; Nugraheni et al., 2019). Koefisien determinasi menunjukkan keeratan hubungan antara data hasil simulasi dan data observasi dengan nilai berkisar dari 0 hingga 1 (Andini et al., 2023). Perbandingan nilai R^2 dapat dilihat pada Gambar 6. Debit hasil kalibrasi memiliki nilai R^2 yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan debit simulasi awal. Hal ini mengindikasikan bahwa kalibrasi model yang dilakukan dapat meningkatkan hasil debit yang diharapkan hingga mencapai 79,50 persen.

Nilai R^2 yang sangat rendah dapat dipengaruhi oleh kualitas data observasi yang digunakan dalam kalibrasi model.

Selain itu, ketepatan dalam penentuan parameter kalibrasi juga mempengaruhi hasil kalibrasi (Gholami et al., 2016). Ainunisa et al. (2020) menyarankan penggunaan peta DEM (Digital Elevation Models) resolusi tinggi dapat memberikan hasil simulasi yang menyerupai kondisi sebenarnya.

KESIMPULAN

Simulasi debit sungai SubDAS Mamasa telah berhasil dilakukan dengan menggunakan model SWAT. Hasil simulasi menunjukkan bahwa debit sungai mengalami peningkatan pada jaringan sungai yang semakin mendekati *outlet* (hilir) melalui akumulasi debit pada ordo sungai yang lebih besar. SubDAS Mamasa juga mengalami tren peningkatan debit rata-rata tahunan dengan laju sebesar 0,74 m³/s per tahun. Kondisi ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan siklus hidrologi SubDAS Mamasa dalam kurung waktu 10 tahun terakhir.

Perbaikan hasil simulasi dilakukan melalui proses kalibrasi debit simulasi. Debit hasil kalibrasi memiliki nilai R² yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan debit simulasi awal. Hal ini menunjukkan bahwa kalibrasi model yang dilakukan berhasil meningkatkan kualitas debit yang diharapkan hingga mencapai 79,50 persen. Namun hasil kalibrasi tersebut masih memiliki R² yang masih rendah. Rendahnya nilai R² dipengaruhi oleh pemilihan parameter yang tepat dan data observasi yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainunisa, D., Halik, G., & Widiarti, W. Y. (2020). Pemodelan Perubahan Tataguna Lahan Terhadap Debit Banjir DAS Tanggul, Jember Menggunakan Model SWAT (Soil and Water Assessment Tool). *Rekayasa Sipil*, 14(2), 154–161
- Al Khoury, I., Boithias, L., & Labat, D. (2023). A Review of the Application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) in Karst Watersheds. *Water*, 15(5), 1–50
- Aloui, S., Mazzoni, A., Elomri, A., Aouissi, J., Boufekane, A., & Zghibi, A. (2023). A review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) studies of Mediterranean catchments: Applications, feasibility, and future directions. *J Journal of Environmental Management*, 326, 1–20
- Andini, F. Y., Dasanto, B. D., & Santikayasa, I. P. (2023). Respon Model HBV dan Model Tangki Terhadap Estimasi Debit Aliran Di DAS Bogowonto, Jawa Tengah. *Jurnal Sumber Daya Air*, 19(2), 84–95
- Anila, C., Barkey, R., Arsyad, U., & Nursaputra, M. (2020). *Land use planning for mitigation of erosion, sediments, and stabilization of water discharge in the Mamasa Watershed*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1-16.
- de Oliveira Serrão, E. A., Silva, M. T., Ferreira, T. R., da Silva, V. d. P. R., de Sousa, F. d. S., de Lima, A. M. M., et al. (2020). Land use change scenarios and their effects on hydropower energy in the Amazon. *Science of the Total Environment*, 744, 1-17
- Gholami, A., Roshan, M. H., Shahedi, K., Vafakhah, M., Solaymani, K. J. J. o. W., & Development, L. (2016). Hydrological stream flow modeling in the Talar catchment (central section of the Alborz Mountains, north of Iran): Parameterization and uncertainty analysis using SWAT-CUP. *Journal of Water Land Development*, 30(1), 57–69
- Hendraswari, I., Putri, I., & Ansari, F. (2023). *Forest Management Units' Role in Conserving and Maintaining Watershed Sustainability to Support Electrical*

- Energy*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1–8.
- Isra, N., Arsyad, U., & Chairuddin, Z. (2023). *Sedimentation analysis using SWAT model (soil and water assessment tool) in Mamasa Sub-Watershed*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1–9.
- Loukika, K. N., Keesara, V. R., Buri, E. S., & Sridhar, V. (2022). Predicting the Effects of Land Use Land Cover and Climate Change on Munneru River Basin Using CA-Markov and Soil and Water Assessment Tool. *Sustainability*, 14(9), 5000
- Narendra, B. H., Siregar, C. A., Dharmawan, I. W. S., Sukmana, A., Pratiwi, Pramono, I. B., et al. (2021). A Review on Sustainability of Watershed Management in Indonesia. *Sustainability*, 13(19), 1–29
- Nugraheni, C. T., Pawitan, H., Purwanto, Y. J., & Ridwansyah, I. (2019). Neraca air Situ Cikaret dan Situ Kabantenan di Kabupaten Bogor menggunakan pemodelan hidrologi SWAT. *Limnotek-Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 26(2), 89–102
- Pambudi, A. S. (2019). Watershed management in Indonesia: A regulation, institution, and policy review. *Jurnal Perencanaan Pembangunan: The Indonesian Journal of Development Planning*, 3(2), 185–202
- Sao, D., Kato, T., Tu, L. H., Thouk, P., Fitriyah, A., & Oeurng, C. (2020). Evaluation of Different Objective Functions Used in the SUFI-2 Calibration Process of SWAT-CUP on Water Balance Analysis: A Case Study of the Pursat River Basin, Cambodia. 12(10), 1–22
- Sutrisno, S., & Saputra, F. S. (2018). Studi Penerapan Metode Mock dan Statistik untuk Menghitung Debit Andalan PLTA Bakaru Kabupaten Pinrang. *Teknik Hidro*, 11(2), 38–47
- Tejaswini, V., & Sathian, K. (2018). Calibration and validation of swat model for Kunthipuzha basin using SUFI-2 algorithm. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*, 7(1), 2162–2172
- Wang, Y., Jiang, R., Xie, J., Zhao, Y., Yan, D., & Yang, S. (2019). Soil and water assessment tool (SWAT) model: A systemic review. *J Journal of Coastal Research*, 93(SI), 22–30