

PENERAPAN MODEL *SWAT* DAN *SWAT-CUP* UNTUK ANALISIS HUJAN-ALIRAN DI SUB DAS KEYANG-SLAHUNG-TEMPURAN

M. Khuzaimy Rurroziq Basthoni^{1*}, Annisa Putri Kinanti²

¹ BWS Maluku Utara

² Balai Teknik Pantai

*khuzaimybasthoni@pu.go.id

Pemasukan: 5 Desember 2024 Perbaikan: 15 Mei 2025 Diterima: 23 Juni 2025

Intisari

Sub DAS Keyang-Slahung-Tempuran (Sub DAS KST) adalah bagian dari DAS Bengawan Solo yang memiliki luas 103.554 ha dan merupakan salah satu sub DAS dengan beberapa kali terjadi banjir. Pemodelan dengan *Soil and Water Assessment Tool (SWAT)* dapat digunakan untuk analisis hujan-aliran pada suatu DAS. Tujuan penelitian ini untuk menilai kinerja model *SWAT* dalam memodelkan hujan-aliran terhadap tata guna lahan di sub DAS KST berdasarkan nilai uji keandalan. Algoritma *SUF1-2 (Sequential Uncertainty Fitting ver. 2)* yang merupakan salah satu metode algoritma di *SWAT-CUP* digunakan pada penelitian ini untuk menilai model kalibrasi dan validasi. Penelitian ini menggunakan rentang waktu bulanan untuk analisis hujan-aliran dari tahun 2009-2017. Tahun 2009-2011 digunakan untuk mempersiapkan proses pemodelan (*Warm up*), tahun 2012-2014 digunakan untuk proses model kalibrasi, dan tahun 2015-2017 digunakan untuk proses model validasi. Hasil dari model *SWAT* dalam periode kalibrasi didapatkan nilai uji keandalan R^2 , NSE , KGE , dan RSR masing-masing sebesar 0.91 (Sangat Baik), 0.77 (Sangat Baik), 0.56, dan 0.48 (Sangat Baik). Nilai uji keandalan R^2 , NSE , KGE , dan RSR pada periode validasi masing-masing sebesar 0.85 (Sangat Baik), 0.85 (Sangat Baik), 0.69, 0.48 (Sangat Baik). *SWAT-CUP* juga digunakan untuk analisis sensitivitas 9 parameter yang digunakan dalam penelitian ini. Berdasarkan nilai P -Value dan t -Stat pada analisis sensitivitas didapatkan urutan parameter yang paling sensitif hingga yang kurang sensitif yaitu $R_{CN2.mgt}$, $R_{REVAPMN.gw}$, $V_{ALPHA_{BF}.gw}$, $R_{ESCO.bsn}$, $R_{GW_{REVAP}.gw}$, $R_{ESCO.hru}$, $V_{GW_{DELAY}.gw}$, $R_{SOL_{AWC}.sol}$, $V_{GWQMN.gw}$.

Kata Kunci: Hujan-aliran, Kalibrasi, Validasi, *SWAT*, *SWAT-CUP*

Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk turut berpengaruh dalam perubahan tata guna lahan yang akan berdampak pada suatu kawasan (Ojima, D. S. dkk., 1994). Contoh dampak negatif dari perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali adalah sering terjadinya banjir pada suatu daerah aliran sungai (DAS). Banjir dapat terjadi karena berubahnya kawasan tata guna lahan yang semula mampu menyimpan dan

menahan sebagian air hujan dan diresapkan ke tanah menjadi tidak bisa menahan bahkan menyimpan sebagian air hujan. Tata guna lahan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan ketersediaan air pada suatu DAS (J. K. Thakur, dkk., 2019)

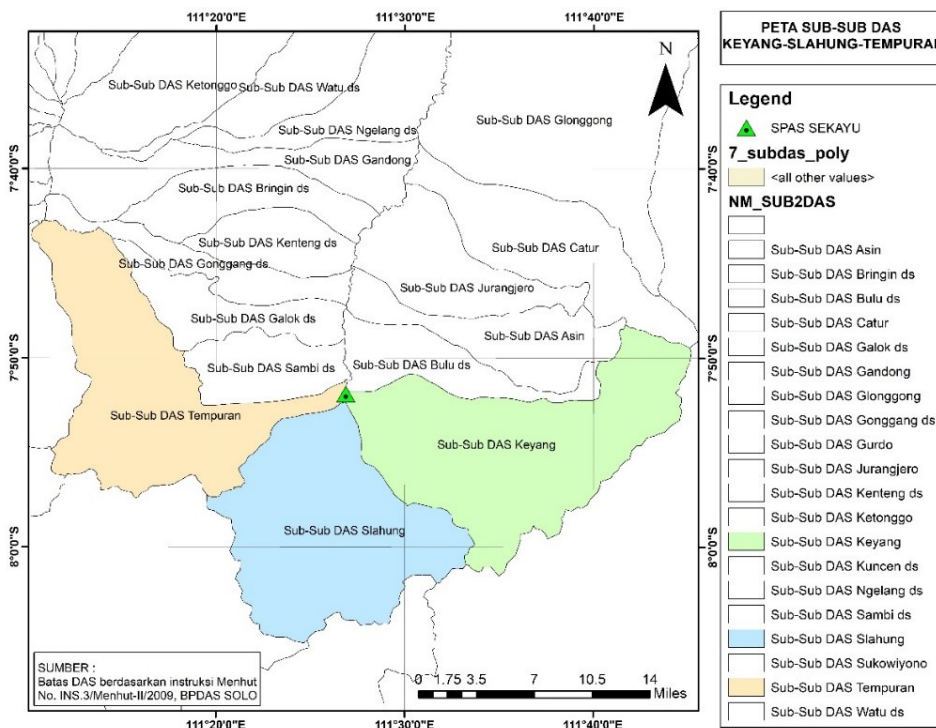
Sub DAS Keyang-Slahung-Tempuran (KST) merupakan bagian dari DAS Bengawan Solo yang sebagian besar wilayah dari sub DAS KST ini terletak di wilayah administrasi Kabupaten Ponorogo. Pertumbuhan penduduk di Kabupaten Ponorogo dan kabupaten lainya yang termasuk ke dalam wilayah sub DAS KST menyebabkan perubahan alih fungsi tata guna lahan yang berpengaruh terhadap debit aliran. Debit aliran karena perubahan alih fungsi tata guna lahan dapat diketahui melalui pemodelan hujan-aliran menggunakan program bantu *SWAT*. *SWAT (Soil and Water Assessment Tool)* merupakan salah satu program bantu pemodelan hujan aliran berbasis semi-distributed serta merupakan model hidrologi skala DAS berbasis fisik, deterministik, dan kontinyu, yang dikembangkan oleh *USDA Agricultural Research Service* (J. G. Arnold, dkk., 1998). Dalam proses analisis pemodelan hujan aliran perlu dilakukan pemilihan model hidrologi dengan nilai validitas yang tinggi dengan tujuan mampu menggambarkan keadaan di lapangan (Tasdighi dkk., 2018). Hasil pemodelan hujan aliran dilakukan analisis sensitivitas menggunakan metode *SUFI-2*. *SUFI-2* digunakan untuk memudahkan pelaksanaan proses kalibrasi dengan batasan waktu yang terbatas (Sloboda, 2011; Malik, M. A. dkk, 2022]. Metode yang paling sering digunakan untuk analisis sensitivitas, parameterisasi, kalibrasi, dan validasi harian maupun bulanan adalah *SUFI-2* (Abbaspour KC, 2007). Oleh karena itu, untuk mengetahui keandalan model dari hasil program bantu *SWAT* maka penelitian ini melakukan penilaian kinerja hasil pemodelan *SWAT* dalam memodelkan hujan aliran bulanan terhadap tata guna lahan di sub DAS Keyang Slahung Tempuran.

Metodologi Studi

Penelitian ini berlokasi di sub DAS dari DAS Bengawan Solo yaitu sub DAS Keyang, sub DAS Slahung, dan sub DAS Tempuran. Letak geografis dari ketiga sub DAS ini berada di $7^{\circ} 48' 14,1''$ – $8^{\circ} 05' 04,3''$ LS dan $111^{\circ} 10' 12,6''$ – $111^{\circ} 45' 11,3''$ BT sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Penelitian ini memerlukan dua jenis data sekunder yaitu data meteorologi dan data spasial. Data meteorologi meliputi curah hujan, data iklim, dan data debit untuk disandingkan dengan debit hasil pemodelan. Data spasial meliputi data peta DEMNAS, data tata guna lahan, dan data jenis lahan. Setelah dua jenis data sekunder terkumpul maka dilakukan pengolahan data sebelum bisa dimasukkan kedalam *SWAT* atau yang disebut tahapan *pre-processing*. Tahapan *pre-processing* ini sangat penting dikarenakan format data yang akan dimasukkan kedalam program bantu *SWAT* harus sesuai agar terbaca dengan baik oleh program. Setelah dilakukan tahapan *pre-processing* maka proses pengolahan data sekunder menjadi debit dapat dilakukan di dalam program *SWAT*. Tahapan pengolahan data pada program bantu *SWAT* meliputi deliniasi DAS, pembentukan *HRU (Hydrologic Response Unit)*, memasukkan data non spasial, dan simulasi model. Setelah didapatkan debit model

perlu dilakukan tahapan kalibrasi dan validasi untuk menilai kesesuaian antara debit model dengan debit di lapangan.



Gambar 1. Lokasi DAS Keyang-Slahung-Tempuran (M. K. R. Basthoni, 2020)

Kalibrasi dan validasi menggunakan program bantu *SWAT-CUP* dengan metode *SUFI-2 (Sequential Uncertainty Fitting version 2)*. Kalibrasi dilakukan untuk menyesuaikan hasil debit dari pemodelan dengan data debit di lapangan dengan cara menentukan nilai ataupun parameter-parameter yang akan digunakan untuk proses validasi. Tujuan dari kalibrasi agar debit hasil dari pemodelan mampu menggambarkan keadaan sesuai di lapangan. Setelah dilakukan kalibrasi maka perlu dilakukan validasi pada rentang tahun yang berbeda dengan tujuan menguji nilai atau parameter-parameter yang digunakan pada proses kalibrasi masih relevan digunakan kembali pada rentang waktu yang berbeda. Parameter-parameter yang akan digunakan pada tahap kalibrasi dan validasi perlu dilakukan uji sensitivitas terhadap debit keluaran model. Untuk menguji hasil tahapan kalibrasi dan validasi pada pemodelan *SWAT* perlu dilakukan uji keandalan. Uji keandalan model dilakukan dengan menggunakan R^2 (Koefisien Determinasi), *NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency)*, dan *PBIAS (Percentage of Bias)*. Masing-masing uji keandalan ini memiliki rentang nilai masing-masing yang dapat dijadikan analisis apakah suatu model dapat digunakan pada karakteristik yang sama dengan kondisi di lapangan. Persamaan *NSE* untuk uji keandalan dapat dilihat sebagai berikut ini pada persamaan 1.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_m^t - Q_o^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \bar{Q}_o)^2} \tag{1}$$

dengan keterangan:

- Q_m^t : debit hasil simulasi (m^3/s)
- Q_o^t : debit lapangan terukur (m^3/s)
- Q_o^- : rata-rata debit aktual terukur (m^3/s)
- NSE : nash-sutcliffe efficiency

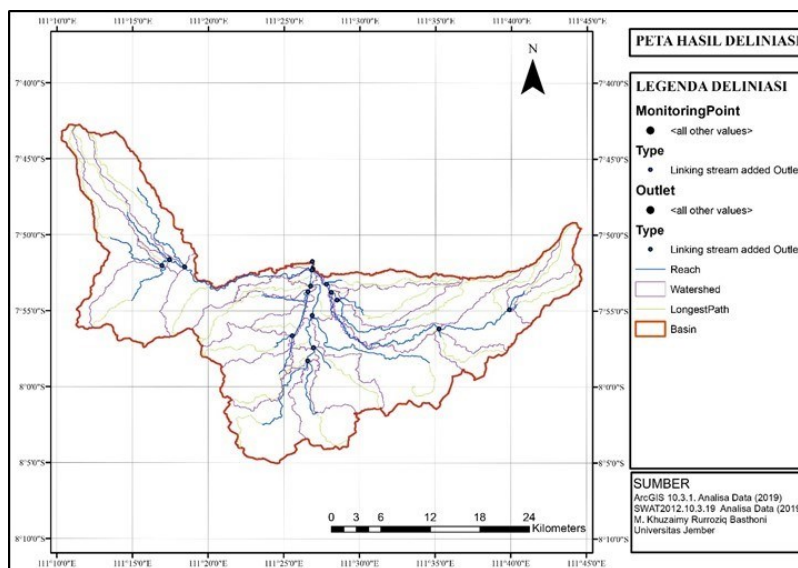
Adapun rentang indikator penilaian NSE dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Indikator Penilaian NSE

No	Nilai NSE	Kategori
1	$0.75 \leq NSE \leq 1.00$	Sangat Baik
2	$0.65 \leq NSE \leq 0.75$	Baik
3	$0.50 \leq NSE \leq 0.65$	Memuaskan
4	$NSE \leq 0.50$	Tidak Memuaskan

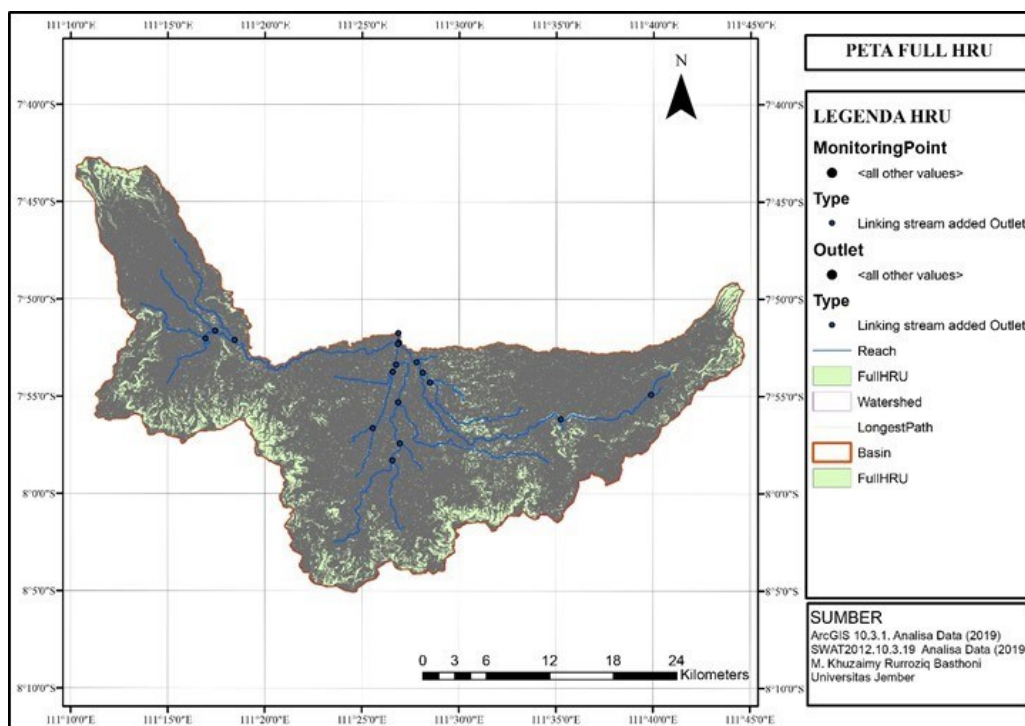
Hasil Studi dan Pembahasan

Penggambaran *stream generation delineation* / deliniasi DAS adalah tahapan dalam pengolahan data spasial untuk menentukan letak titik *outlet* aliran. Hasil dari *stream generation delineation* yaitu luas sub DAS, panjang sungai, dan jumlah *sub-basin*. Titik *outlet* pada penelitian ini terletak di SPAS Sungai Sekayu yang mempunyai koordinat $07^{\circ}37'20.69''$ LU - $111^{\circ}28'47.02''$ BT. Hasil dari deliniasi sub DAS KST dapat dilihat pada **Gambar 2**



Gambar 2. Peta Deliniasi sub-sub DAS KST (M. K. R. Basthoni, 2020)

Pembentukan *HRU (Hydrologic Response Unit)* merupakan tahapan menggabungkan data tata guna lahan, data jenis tanah, dan data kemiringan lahan menjadi satu kesatuan data. Hasil dari pembentukan *HRU* pada penelitian ini yaitu terbentuknya 33 Sub-basin dengan luasan total $952,802 \text{ Km}^2$ dengan elevasi maksimum berada di 2412 mdpl dan elevasi minimum 82 mdpl.

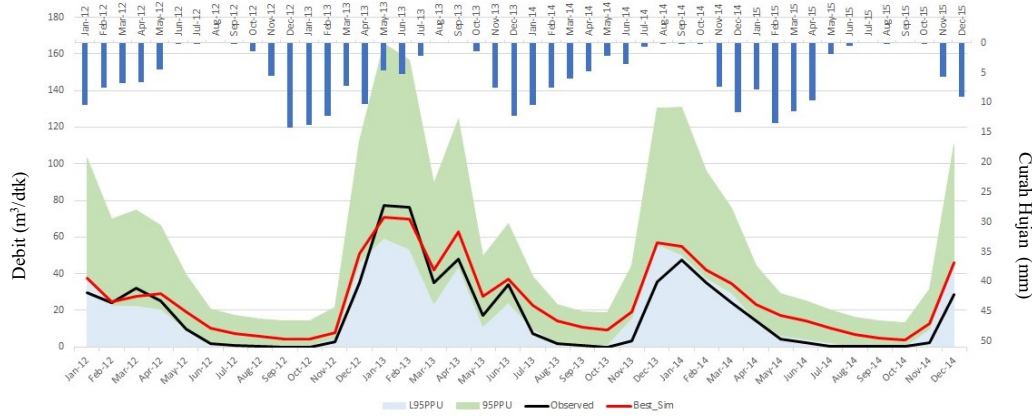


Gambar 3. Peta *HRU* sub-sub DAS KST (M. K. R. Basthoni, 2020)

Tahapan setelah penggambaran *stream generation* dan pembentukan *HRU* tahapan selanjutnya adalah simulasi model. Data yang dimasukan adalah data meteorologi meliputi data curah hujan, koordinat stasiun pengukur curah hujan, dan data iklim. Pemodelan hujan aliran dilakukan dengan dua kali simulasi. Simulasi model pertama yaitu pemodelan hujan aliran bulanan pada rentang tahun 2012-2014, sedangkan simulasi model kedua yaitu pemodelan hujan aliran bulanan pada rentang tahun 2015-2017. Simulai pertama bertujuan untuk dilakukan proses kalibrasi dan simulasi keduann bertujuan untuk dilakukan proses validasi. Sebelum dilakukan simulasi pertama dan kedua, perlu dilakukan proses *warming up* pemodelan data selama paling sedikit dua tahun, pada penelitian ini tahapan *warming up* di rentang tahun 2009-2010.

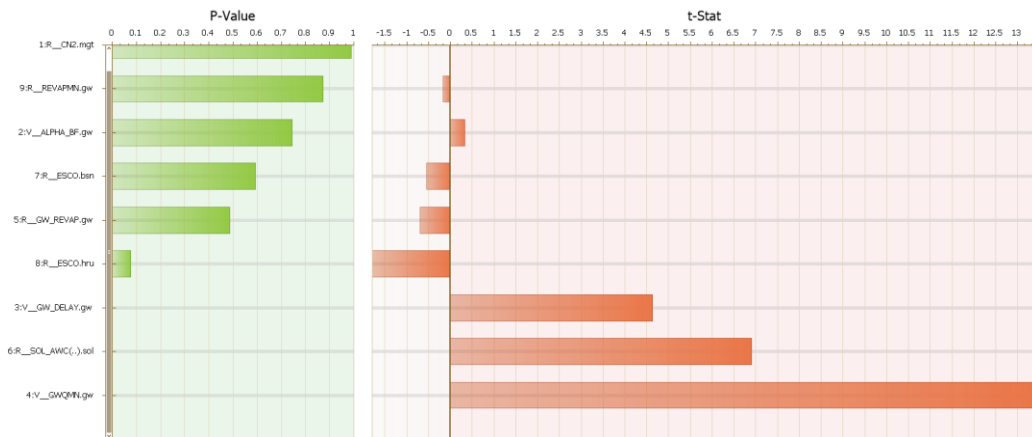
Tahap kalibrasi dilakukan untuk menguji keandalan hasil debit pemodelan dengan debit dilapangan untuk mencari nilai ataupun parameter-parameter yang sesuai dengan keadaan di lapangan. Tahapan kalibrasi dan validasi menggunakan program bantu *SWAT-CUP* dengan metode *Algoritma SUF1-2 (Sequential Uncertainty Fitting ver. 2)*. Pada penelitian ini kalibrasi dilakukan pada simulasi pertama (rentang tahun 2012-2014). Simulasi pertama pemodelan dilakukan 100 kali iterasi yang menghasilkan nilai keandalan R^2 , NSE, KGE, dan RSR masing-masing sebesar 0.91 (Sangat Baik), 0.77 (Sangat Baik), 0.56, dan 0.48 (Sangat Baik). Sehingga dapat diinterprestasikan bahwa pada tahapan kalibrasi, hasil dari pemodelan *SWAT* mampu menggambarkan karakteristik sesuai kondisi dilapangan. Parameter-parameter yang digunakan pada tahapan kalibrasi yaitu R_{CN2} , V_{ALPHA_BF} , V_{GW_DELAY} , V_{GWQMN} , R_{GW_REVAP} , R_{SOL_AWC} ,

$R_{ESCO.bsn}$, $R_{ESCO.hru}$, $R_{REVAPMN}$ dan nilai dari masing-masing parameter yaitu -47.025, 0.60, 127.5, 4325, 0.128, 0.735, 0.805, 0.125, 442.5. Hidrograf bulanan rentang tahun 2011-2014 hasil kalibrasi dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Hidrograf 2011-2014 Hasil Kalibrasi

Penelitian ini juga menilai uji sensitivitas dari sembilan parameter yang digunakan dalam tahapan kalibrasi. Penilaian uji sensitivitas dilakukan dengan menggunakan *P-Value* dan *t-Stat*. Semakin tinggi nilai *P-Value* dan semakin rendah nilai *t-Stat* maka parameter tersebut merupakan parameter yang paling berpengaruh dalam keluaran hasil dari pemodelan. Hasil dari uji sensitivitas, parameter yang tinggi pengaruhnya dalam penelitian ini adalah R_{CN2} dan yang sangat rendah pengaruhnya adalah V_{GWQMN} . Uji sensitivitas dapat dilihat secara grafik pada **Gambar 5** dan secara tabel dapat dilihat pada **Tabel 2**

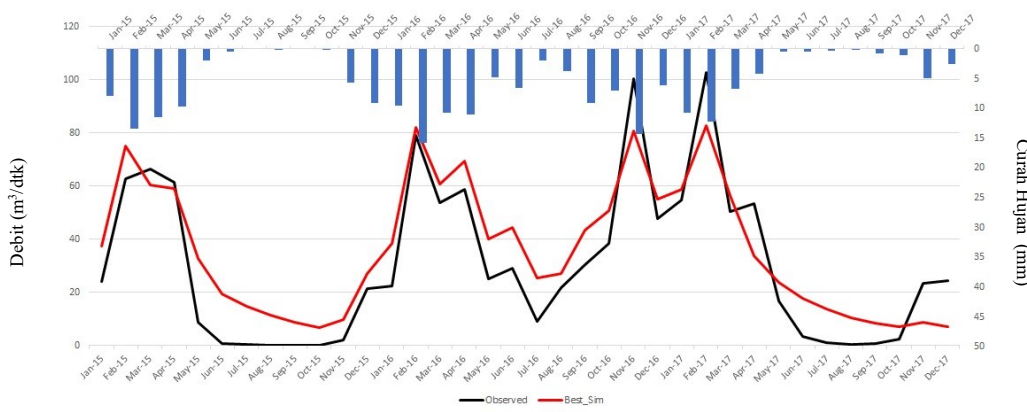


Gambar 5. Grafik Nilai Uji Sensitivitas

Tabel 2. Hasil uji sensitivitas

No	Parameter	t-Stat	P-Value
1	1:R_CN2.mgt	-0.01	0.99
2	9:R_REVAPMN.gw	-0.16	0.87
3	2:V_ALPHA_BF.gw	0.33	0.75
4	7:R_ESCO.bsn	-0.54	0.59
5	5:R_GW_REVAP.gw	-0.70	0.49
6	8:R_ESCO.hru	-1.79	0.08
7	3:V_GW_DELAY.gw	4.63	0.00
8	6:R_SOL_AWC(..).sol	6.91	0.00
9	4:V_GWQMN.gw	13.46	0.00

Tahap validasi dilakukan untuk menguji kembali nilai dan parameter yang digunakan pada tahap kalibrasi namun dengan rentang tahun yang berbeda. Validasi dilakukan pada simulasi kedua (rentang tahun 2015-2017). Nilai uji keandalan *R2*, *NSE*, *KGE*, dan *RSR* pada tahapan validasi masing-masing sebesar 0.85 (Sangat Baik), 0.85(Sangat Baik), 0.69, 0.48 (Sangat Baik). Berdasarkan nilai uji keandalan tahap validasi, nilai dan parameter-parameter pada tahap kalibrasi masih mampu menggambarkan keadaan sesuai dengan dilapangan. Hidrograf bulanan rentang tahun 2011-2014 hasil kalibrasi dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Hidrograf 2015-2017 Hasil Validasi

Hasil analisis pada tahap kalibrasi dan validasi didapatkan bahwa penerapan model *SWAT* di sub DAS Keyang-Slahung-Tempuran mampu menghasilkan kategori sangat baik

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penerapan pemodelan hujan-aliran bulanan menggunakan program bantu *SWAT* di sub DAS Keyang-Slahung-Tempuran menghasilkan kategori sangat baik pada tahap kalibrasi dan validasi. Nilai uji keandalan *R2*, *NSE*, *KGE*, dan *RSR* masing-masing sebesar 0.91 (Sangat Baik), 0.77 (Sangat Baik), 0.56, dan 0.48 (Sangat Baik), sedangkan pada tahap validasi masing-masing sebesar 0.85 (Sangat Baik),

0.85(Sangat Baik), 0.69, 0.48 (Sangat Baik). Urutan parameter dari yang tinggi hingga rendah pengaruhnya terhadap pemodelan berdasarkan analisis sensitivitas yaitu *R_CN2.mgt*, *R_REVAPMN.gw*, *V_ALPHA_BF.gw*, *R_ESCO.bsn*, *R_GW_REVAP.gw*, *R_ESCO.hru*, *V_GW_DELAY.gw*, *R_SOL_AWC.sol*, *V_GWQMN.gw*.

Saran

Untuk menghasilkan model hujan aliran yang akurat atau sesuai dengan yang dilapangan maka perlu meningkatkan kualitas data-data sekunder serta perlu dilakukan penilaian ulang terhadap karakteristik air terhadap jenis-jenis tanah yang ada di Indonesia

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada BBWS Bengawan Solo dan BPDASHL Solo yang telah membantu untuk mengumpulkan data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini

Daftar Referensi

- Abbaspour KC (2007) User manual for SWAT-CUP, SWAT calibration and uncertainty analysis programs. Eawag: Swiss Fed. Inst. Of Aquat. Sci. and Technol. Dubendorf, Switzerland.
- J. G. Arnold, R. Srinivasan, R. S. Muttiah, dan J. R. Williams, (1998). "Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development," J. American Water Resour. Assoc. 34(1): 73-89.
- J. K. Thakur, K. Khanal, and P. Kabita, (2019). "Land cover changes for enhancing water availability in watersheds of Tanahun and Kaski, Nepal," Journal of Water and Climate Change, 10(2), 431-448.
- M. K. R. Basthoni, "Basthoni, M. K. R. (2020). Analisis Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir Sub-Sub DAS Keyang-Slahung-Tempuran (KST)," TERAS JURNAL, 10(2), 189-202. 2020.
- Malik, M. A., Dar, A. Q., & Jain, M. K. (2022). Modelling streamflow using the SWAT model and multi-site calibration utilizing SUFI-2 of SWAT-CUP model for high altitude catchments, NW Himalaya's. Modeling Earth Systems and Environment, 8(1), 1203-1213.
- Ojima, D. S., Galvin, K. A., & Turner, B. L. (1994). The global impact of land-use change. BioScience, 44(5), 300-304.
- Sloboda M, Swayne D (2011) Autocalibration of environmental process models using a PAC learning hypothesis. Environ Softw Syst Frameworks Environ 329:528–534
- Tasdighi, Ali, Mazdak Arabi, and Daren Harmel, (2018). "A probabilistic appraisal of rainfall-runoff modeling approaches within SWAT in mixed land use watersheds," Journal of hydrology: 476-489.