

**APLIKASI MODEL *SOIL AND WATER ASSESMENT TOOL* (SWAT) UNTUK
MENGKAJI DEBIT HARIAN DAN LIMPASAN PERMUKAAN
(Kasus: Sub DAS Wakung, Pemalang, Jawa Tengah)**

Noor Adhi Sakti

nooradhisakti@outlook.com

Dr. Slamet Suprayogi M.S.

ssuprayogi@ugm.ac.id

Abstark

Penggunaan model SWAT dalam penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data debit serta menentukan daerah yang meberikan limpasan permukaan paling besar di Sub DAS Wakung. Berdasarkan data debit nantinya dapat dihitung nilai koefisien regim aliran untuk menentukan kondisi hidrologi di Sub Das Wakung. Perhitungan nilai KRA untuk data debit hasil model (KRA=9,49) menggambarkan kondisi hidrologi yang baik di Sub DAS Wakung, sedangkan untk nilai KRA dari data debit observasi (KRA=26,21) menggambarkan kondisi hidrolgoi yang buruk di Sub DAS Wakung. Perbedaan nilai KRA yang cukup signifikan dikarenakan adanya anomaly pada data debit observasi. Sedangkan untuk sub DAS yang menyumbang limpasan permukaan paling besar berasal dari Sub DAS nomor 10, 13, 14, 19, 21, 29, dan 32. Tingginya limpasan permukaan di ke-tujuh sub DAS dikarenakan tanahnya yang didominasi tekstur liat.

Kata Kunci : Model SWAT, Limpasan Permukaan, Debit Harian, Sub DAS Wakung

Abstract

The using of SWAT model aims to yield discharge data and determine which parts of the watershed that provide runoff the most in Sub-watershed of Wakung. Flow regime coefficient (KRA) can be yielded from the discharge data to establish hidrologic condition in sub-watershed of Wakung. The KRA value which is yielded from discharge data shows (KRA=9,49) that hidrologic condition is in good condition, whereas, the KRA value which is yielded from observation (KRA=26,21) shows that hidrologic condition is in poor condition in sub-watershed of Wakung. The significant diffence of KRA values are caused by the anomalies in discharge data yielded by observation. Sub-watersheds that have greatest runoff is sub-watershed number 10,13,14,19,21,29, and 32. The high runoff in those seven sub-watersheds are caused by the soil which is dominated by silt.

Key Words : SWAT Model, Surface Runoff, Flow out, Sub-watershed of Wakung

PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan salah satu batasan proses dalam siklus hidrologi. Sebagai salah satu batasan dalam suatu siklus, DAS memiliki input (hujan dan air tanah) dan output (aliran sungai). Proses pada DAS dalam mengubah input menjadi output dipengaruhi oleh banyak faktor yang kompleks, beberapa diantaranya adalah penggunaan lahan dan kondisi tanah (Muma, 2011). Perbedaan dominansi faktor yang mempengaruhi proses pada beberapa DAS akan memberikan respon hidrologi yang berbeda pada setiap DAS. Keberagaman faktor berpengaruh pada proses dalam DAS tidak hanya terjadi pada lingkup antar DAS tetapi juga didalam DAS karena kondisi fisik dalam DAS juga sangat beragam. Kondisi fisik dalam DAS yang berbeda-beda menyebabkan respon yang diberikan pada area-area tertentu dalam DAS juga beragam, sehingga dibutuhkan kajian respon hidrologi dalam lingkup yang lebih kecil dari DAS untuk menentukan lokasi prioritas dalam pengelolaan DAS agar tepat sasaran.

Kegiatan pengelolaan DAS selain melakukan kegiatan konservasi secara fisik pada lokasi prioritas juga harus melakukan monitoring. Monitoring dalam DAS dapat dilakukan dengan mengamati kondisi regim aliran melalui data debit. Kendala yang sering timbul dalam kegiatan monitoring ini adalah ketersediaan data dengan kualitas yang baik. Data debit dengan kualitas baik biasanya terdapat pada daerah hilir dengan area tangkapan yang sangat luas sedangkan kegiatan konservasi pada umumnya dilakukan pada daerah hulu dan cakupannya kecil. Kendala tersebut dapat diantisipasi dengan penggunaan model untuk mendapatkan data yang diinginkan.

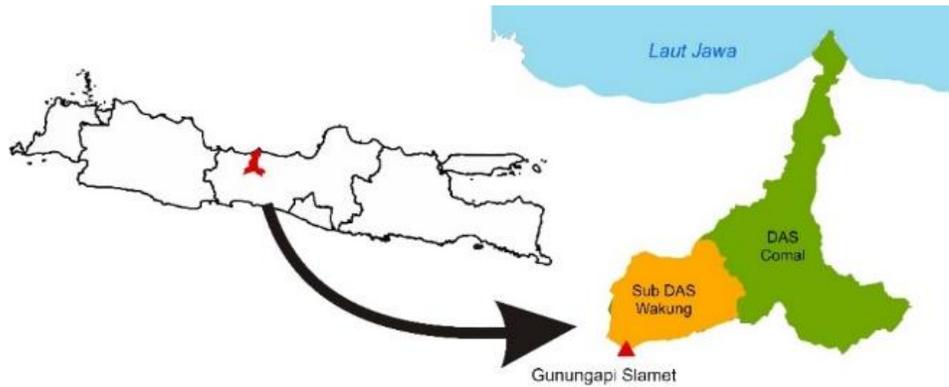
Model yang mampu mensimulasikan proses dalam DAS dengan baik adalah model terdistribusi dimana karakteristik juga ikut dipertimbangkan dalam penginputan model. Beberapa model berbasis proses fisik yang terdistribusi yaitu SHE, TOPMODEL, HEC, VIC, IHDM, WATFLOOD and SWAT. Model-model tersebut mampu mensimulasikan proses hidrologi secara spasial dan temporal. Model *Soil Water and Assessment Tool* (SWAT) merupakan salah satu model yang paling banyak diterapkan dan dikaji dalam mensimulasikan proses dalam DAS (Lin,2015).

Penelitian ini dilakukan dengan menerapkan model SWAT pada DAS terpilih dengan output berupa debit harian dan limpasan permukaan. Debit harian digunakan untuk mengkaji kondisi regim aliran sedangkan limpasan permukaan digunakan untuk mengkaji wilayah yang memberikan limpasan paling besar dengan asumsi daerah tersebut merupakan daerah yang prioritas dilakukan pengelolaan DAS.

METODE PENELITIAN

Wilayah Kajian

Wilayah kajian berada di Sub DAS Wakung. Sub DAS Wakung merupakan bagian dari DAS Comal dan terletak dibagian hulu DAS (Gambar 1). Luas Sub DAS Wakung mencapai 25.955,33 Ha dan sebagian besar areanya masuk dalam wilayah administrasi Kabupaten Pematang, Provinsi Jawa Tengah.



Gambar 1 Gambaran Lokasi Sub DAS Wakung

Ketinggian dari Sub DAS Wakung berkisar dari 111 mdpl hingga 3400 mdpl. Selisih antara ketinggian maksimum dan minimum sangat besar karena Sub DAS Wakung terletak di lereng Gunungapi Slamet, sehingga batas DAS paling tinggi berada pada puncak gunung. Material pembentuk tanah di Sub DAS Wakung paling dominan berasal dari material vulkanik muda yang dikeluarkan oleh Gunungapi Slamet. Material penyusun tanah lain berasal dari batuan andesit dan napalan yang tersebar didaerah dengan morfologi berbukit.

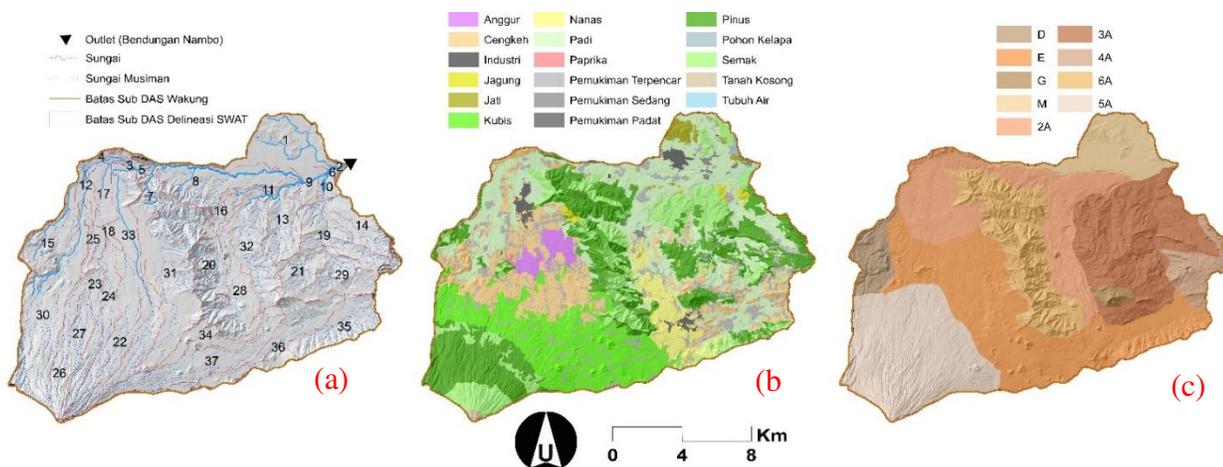
Model SWAT

SWAT model merupakan model hidrologi dengan batasan DAS sebagai area kerja, serta bekerja dalam rentang waktu harian (Arnold, 1998). SWAT di dibuat oleh *US Department of Agriculture (USDA)*,

Agricultural Research Service untuk memprediksi efek dari praktek pengelolaan lahan pada air, sedimen serta bahan kimia dari kegiatan pertanian.

DAS dalam model SWAT akan dibagi menjadi Sub DAS yang wilayah nya lebih kecil (Gambar 2a). Sub DAS yang telah ditentukan nantinya juga akan dibagi menjadi unit lebih kecil yaitu *Hydrological Response Unit (HRU)*.

Model SWAT secara umum membagi dua proses hidrologi yang terjadi didalam DAS menjadi dua. Proses pertama adalah proses yang terjadi pada lahan dimana air disimulasikan tertransport kedalam saluran bersama sedimen dan kimia tanah. Proses kedua merupakan simulasi proses transport air, sedimen dan kimia tanah dalam saluran (Cibin, 2012).



Gambar 2 (a) Pembagian Sub DAS Wakung, (b) Peta Penggunaan Lahan, (c) Peta Sampel Tanah

Limpasan permukaan diprediksi menggunakan *SCS curve number* yang dimodifikasi.

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

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

Keterangan

- Q_{surf} = Akumulasi *surface runoff*
- R_{day} = Hujan harian
- I_a = Abstraksi awal
- S = Retensi
- CN = *Curve Number*

Input Model

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan SWAT 2012 pada software ArcGIS 10.1. Input yang dibutuhkan model serta sumbernya ditunjukkan pada table 1.

Outlet utama dari Sub DAS Wakung berada pada bendung Nampo. *Digital Elevation Model* (DEM) digunakan untuk mendelineasi DAS serta mengambil informasi topografi dari DAS.

Data penggunaan lahan didapat dengan interpretasi visual dari gambar mozaik google earth (Gambar 2b). Tidak tersedianya data tanah pada lokasi kajian mengharuskan melakukan pengambilan sampel tanah langsung di lapangan. Pengambilan sampel tanah didasarkan dari peta satuan bentuklahan (Gambar 2c). Asumsi yang digunakan adalah setiap satuan lahan memiliki karakteristik tanah yang mirip dikarenakan kesamaan proses dan material batuan (Gerrard, 1981).

Tabel 1 Kebutuhan Input Data SWAT

Tipe Data	Keterangan
Topography	Peta Rupa Bumi Indonesia
Penggunaan Lahan	Interpretasi visual menggunakan mozaik <i>google earth</i>
Tanah	Pengambilan sampel berdasarkan peta satuan bentuklahan

Klimatologi	Data sekunder dari BPSDA Semarang
-------------	-----------------------------------

Kalibrasi dan Validasi Model

Kalibrasi dan validasi model SWAT dilakukan secara semi otomatis dengan bantuan software SWAT Cup. Pemilihan parameter yang akan dikalibrasi didapat dari studi pustak penelitian-penelitian yang telah dilakukan. Parameter yang dipilih nantinya dapat dikeathui tingka signifikansi dan sesitivitas-nya.

Kalibrasi dan validasi model SWAT di Sub DAS Wakung dibagi menjadi dua periode waktu. Periode Kalibrasi dilakukan pada Juli 2011 hingga Juni 2012, sedangkan untuk periode validasi pada Juli 2012 hingga Juni 2013.

Baik buruknya model ditentukan dari uji statistic sederhana koefisien determinasi dan Efisiensi Nash–Sutcliffe (ENS). Di bawah ini adalah rumus perhitungan statistic sederhana yang digunakan.

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Mi} - \bar{Q}_{Mi}) (Q_{Si} - \bar{Q}_{Si})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{Mi} - \bar{Q}_{Mi})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{Si} - \bar{Q}_{Si})^2}} \right]^2$$

$$E_{NS} = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Mi} - Q_{Si})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Mi} - \bar{Q}_{Mi})^2} \right]$$

Keterangan:

- R2 = Koefisien Determinansi
- ENS = Koefisien Nash-Sutcliffe
- QSi = Nilai simulasi model
- QMi = Nilai observasi
- $(Q_m)^{-}$ = Rata-rata nilai observasi
- n = Jumlah data

Koefisien Regim Aliran

Koefisien regim aliran dihitung menggunakan ketentuan yang di keluarkan Kementerian Kehutanan pada dokumen

monitoring evaluasi DAS yaitu Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia nomor P.61/Menhut-II/2014.

$$KRA = \frac{Q_{max}}{Q_{min}}$$

atau

$$KRA = \frac{Q_{max}}{Q_a} \text{ (untuk daerah kering)}$$

Keterangan:

Q max = Debit Maksimum

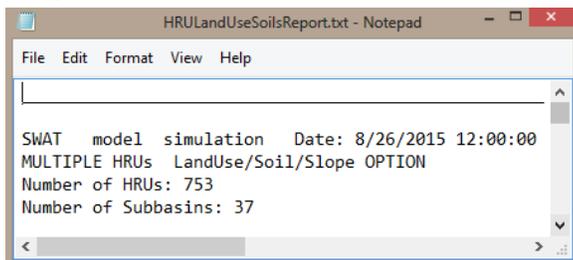
Q min = Debit Minimum

Q a = 0,25 x debit rata-rata bulanan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Delineasi DAS dan *Hydrologic Response Unit* (HRU)

Sub DAS yang didelineasi dari Sub DAS Wakung terdapat 37 Sub DAS (Gambar 3). Hasil HRU yang didapat sebanyak 753 unit yang merupakan hasil tumpang tindih peta penggunaan lahan, sampel tanah dan lereng dengan luas minimal 6,25 Ha.



Gambar 3 Report Hasil Pembuatan HRU

Kalibrasi dan Validasi

Tahap kalibrasi dilakukan dengan memilih parameter-parameter sensitive untuk output yang akan dikalibrasi, Hasil studi pustaka mendapatkan 13 parameter yang sensitif. Setelah proses kalibrasi, dari 13 parameter tersebut juga diketahui urutan tingkat signifikansi dan sensitivitasnya pada Tabel 2. Nilai t-Stat menggambarkan sensitifitas parameter, semakin nilainya mendekati 0 maka suatu parameter semakin sensitif. Nilai P-Value

menggambarkan signifikansi parameter yang sensitif, semakin mendekati 1 maka suatu parameter cenderung signifikan mempengaruhi output jika nilainya di manipulasi.

Tabel 2 Tabel P-Value dan t-Stat

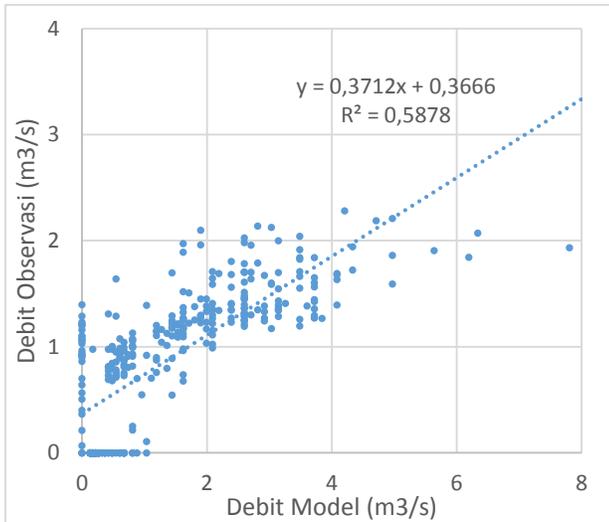
Parameter Name	P-Value	t-Stat
ALPHA_BF.gw	0.96	-0.06
SURLAG.bsn	0.89	-0.14
SOL_K(..).sol	0.73	0.35
RCHRG_DP.gw	0.68	-0.41
SOL_AWC(..).sol	0.51	0.66
GW_REVAP.gw	0.42	0.81
GWQMN.gw	0.24	1.18
EPCO.hru	0.07	-1.84
CH_N2.rte	0.05	1.98
ESCO.hru	0.04	2.05
CH_K2.rte	0.02	2.42
CN2.mgt	0.00	3.49
GW_DELAY.gw	0.00	-3.71

Sumber : Hasil studi pustaka

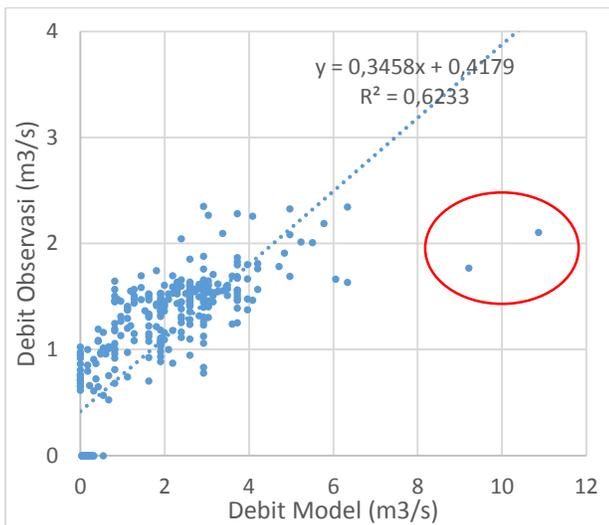
Kalibrasi model dilakukan sebanyak 1000 kali percobaan hingga di dapatkan hasil paling baik yang mendekati debit observasi. Hasil kalibrasi tersebut menghasilkan model paling baik di iterasi yang ke-130 dengan nilai R² 0,55 dan Efisiensi Nash-Sutcliffe (ENS) 0,359. Sebenarnya angka tersebut masih belum terlalu memuaskan. Besarnya perbedaan nilai antara debit hasil pemodelan dengan debit observasi diperkirakan menjadi penyebab hasil uji statistik yang tidak memuaskan terhadap hasil model (Gambar4).

Tahap validasi model ini menunjukkan adanya peningkatan nilai R² menjadi 0,623, namun terjadi penurunan untuk ENS menjadi 0,315. Artinya 62% dari hasil pemodelan dapat diterima dengan simpangan nilai sekitar 65% ditunjukkan dari persamaan garis. Plot scatter pada Gambar 5 (lingkaran merah) juga menunjukkan bahwa model tidak dapat

menjangkau untuk nilai-nilai yang ekstrim. Nilai debit observasi (ordinat) mencapai 9 m³/s dan 11 m³/s, sedangkan untuk debit model (absis) hanya mencapai ± 2 m³/s.



Gambar 4 Plot Scatter Model-Observasi Bulan Juli 2011- Juni 2012 (Kalibrasi)



Gambar 5 Plot Scatter Model-Observasi Bulan Juli 2012 – Juni 2013 (Validasi)

Fluktuasi debit

Hasil Model menunjukkan kecenderungan *underestimate* sehingga performa model kurang bagus. Kondisi tersebut diperparah dengan adanya nilai ekstrim yang tidak bisa dijangkau oleh model (Gambar 6)

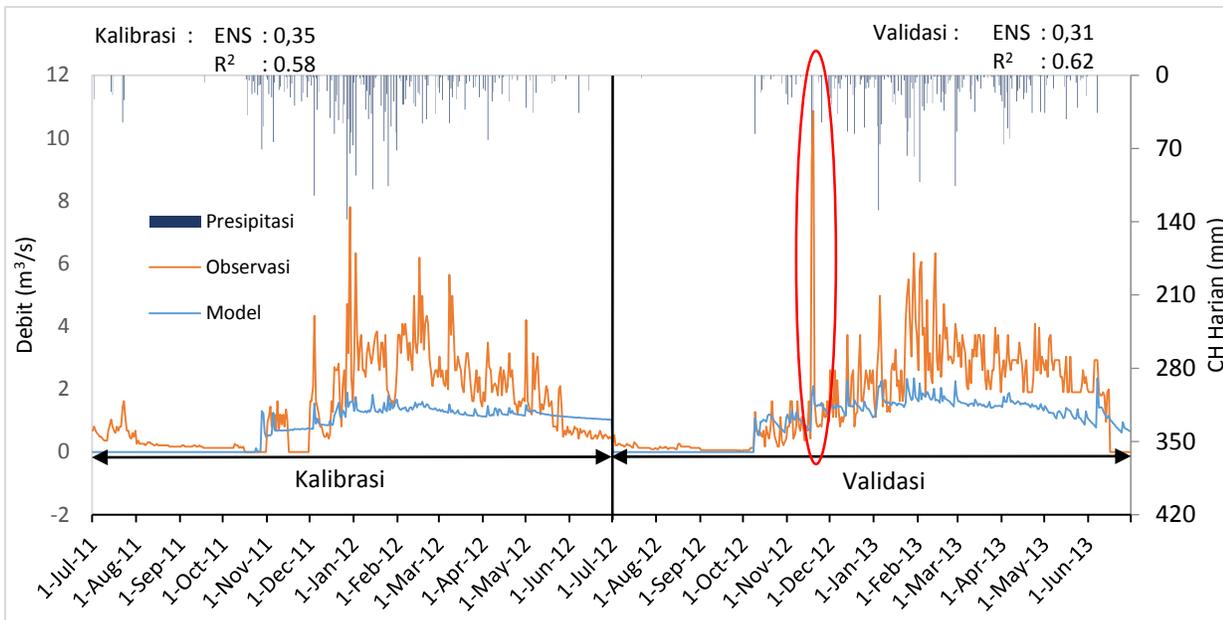
Adanya nilai ekstrim tersebut jika dilihat hubungannya dengan kejadian hujan adalah sebuah anomali. Lingkaran merah menunjukkan kejadian debit puncak paling tinggi dalam satu hidrograf tahunan, sedangkan lingkaran hijau menunjukkan tebal hujan paling tinggi yang terjadi dalam satu hari. Debit yang dihasilkan dari tebal hujan paling tinggi masih rendah dibanding debit puncak. Kondisi tersebutlah yang mendasari debit observasi Sub DAS Wakung terdapat anomali.

Selanjutnya untuk mengetahui kondisi DAS berdasarkan fluktuasi debit dilakukan perhitungan Koefisien Regim Aliran(KRA). Hasil perhitungan KRA untuk hasil debit observasi didapat nilai sebesar 26,21 dengan klasifikasi sangat tinggi, sedangkan untuk debit hasil model hanya sebesar 9,49 dengan klasifikasi rendah (Tabel 3). Hasil KRA debit observasi menggambarkan Sub DAS Wakung dalam kondisi buruk karena selisih antara debit maksimum dan minimum cukup besar sehingga air hujan yang jatuh tidak banyak yang tertahan/tersimpan. Hasil KRA untuk debit model menggambarkan kondisi DAS yang baik mengingat selisih antara debit maksimum dengan minimum kecil. Perbedaan yang signifikan antara nilai KRA dari debit hasil pemodelan dengan debit hasil observasi menunjukkan adanya kesalahan seperti yang sudah dibahas sebelumnya.

Tabel 3 Nilai KRA Sub DAS Wakung

Hasil	Debit (m3/s)		KRA	Kelas Koefisien Regim Aliran
	max	min		
Observasi	10.86	0	26.21	Sangat tinggi
Model	2.35	0	9.49	Rendah

Sumber : Hasil perhitungan

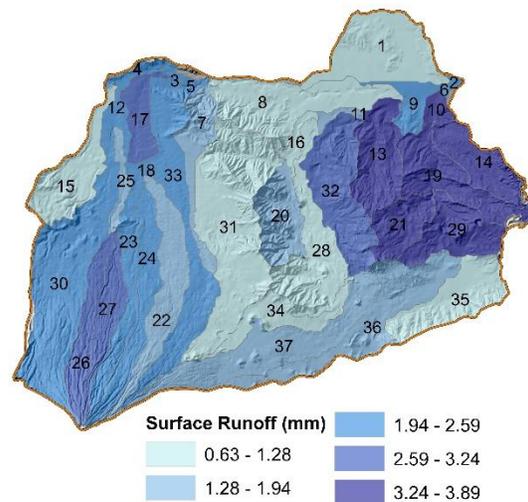


Gambar 6 Debit observasi dan model untuk periode kalibrasi dan validasi

Sebaran Kelas Limpasan Permukaan

Nilai yang ditampilkan dalam peta merupakan nilai rata-rata limpasan permukaan harian selama satu tahun dalam satuan milimeter (Gambar 7). Masing-masing Sub DAS akan diwakili oleh satu nilai limpasan permukaan. Kondisi suatu sub DAS bisa dikaji dengan membandingkan nilai limpasan permukaan antar sub DAS yang berbeda-beda.

Sub DAS dengan nilai limpasan permukaan tinggi yang mengelompok di sebelah timur DAS memiliki kelas limpasan permukaan berkisar dari 3,24 mm/hari hingga 3,89 mm/hari. Sub Das tersebut yaitu sub DAS nomor 10, 13, 14, 19, 21, 29, dan 32. Tujuh sub DAS dengan nilai kelas limpasan permukaan paling tinggi di Sub DAS Wakung tersebut dikelilingi oleh sub DAS dengan kelas limpasan permukaan paling rendah (Gambar 7). Perbedaan yang tegas tersebut memperkuat dugaan adanya faktor kuat yang mempengaruhi hasil model.



Gambar 7

Besarnya nilai limpasan di tujuh sub DAS tersebut diperkirakan karena memiliki karakteristik tanah yang sama, mengingat untuk kondisi lereng dan penggunaan lahan daerah tersebut cukup beragam. Tabel 4 menunjukkan adanya dominasi sampel tanah pada ke-tujuh sub DAS yaitu sampel tanah 6A.

Tabel 4 Presentase Luasan Sampel Tanah Sub Das Nomor 10, 13, 14, 19, 21, 29, Dan 32

Kode Sampel Tanah	Persentase Luas(%)
E	0.15
G	2.78
M	0.04
2A	9.31
6A	73.61
4A	14.11

Sampel tanah 6A merupakan sampel tanah yang diambil pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Berbatuan Serpih, Napal dan Batupasir Gampingan. Umur geologi yang cukup tua membuat tanah didaerah tersebut sudah cukup berkembang. Sampel tanah 6A memiliki 3 lapisan dengan karakteristik fisik yang berbeda. Tekstur tanah pada lapisan ke-1 berupa lempung lapisan ke-2 dan ke-3 berupa liat menunjukkan bahwa tanah sudah cukup berkembang.

Tekstur tanah berupa lempung dan liat tersebut memiliki daya ikat yang kuat serta pori-pori yang sangat kecil, sehingga sukar menyerap maupun meneruskan air. Apabila terjadi hujan di daerah tersebut air hujan cenderung menjadi limpasan dibanding terserap kedalam tanah karena intensitas hujan lebih besar di banding kemampuan infiltrasi dan permeabilitas tanah. Faktor sifat fisik tanah menjadi faktor penyebab tingginya limpasan permukaan di sub DAS 10, 13, 14, 19, 21, 29, dan 32.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil kalibrasi model belum cukup memuaskan dimana nilai validasi dari debit keluaran untuk NSE sebesar 0,315 dan R^2 sebesar 0,611.

2. Nilai Koefisien Regim Aliran (KRA) untuk data debit hasil model ($KRA=9,49$) menggambarkan kondisi hidrologi yang baik di Sub DAS Wakung, sedangkan untk nilai KRA dari data debit observasi ($KRA=26,21$) menggambarkan kondisi hidrolgoi yang buruk di Sub DAS Wakung
3. Sub DAS yang menyumbang limpasan permukaan paling besar yaitu Sub DAS nomor 10, 13, 14, 19, 21, 29, dan 32.
4. Tingginya limpasan permukaan di sub DAS 10, 13, 14, 19, 21, 29, dan 32 dikarenakan sifat fisik tanahnya yang didominasi tektur liat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Mutiah, S.R., Williams, J.R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I. Model development1. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 34 (1), 73–89
- Cibin, R., Chanbey, I., Engel, B., 2012. Simulated watershed scale impacts of corn stove removal for biofuel on hydrology and water quality. *Hydrol. Process.* 26 (11), 1629–1641
- Gerrard, A. J. (1981). *Soils and landforms. An integration of geomorphology and pedology.* George Allen & Unwin (Publishers) Ltd.
- 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.
- Meaurio, M., Zabaleta, A., Uriarte, J. A., Srinivasan, R., & Antiguédad, I. (2015). Evaluation of SWAT models performance

to simulate streamflow spatial origin. The case of a small forested watershed. *Journal of Hydrology*, 525, 326-334.

Muma, M., Assani, A.A., Landry, R., Quessy, J., Mesfioui, M., 2011. Effects of the change from forest to agriculture land use on the spatial variability of summer extreme daily flow characteristics in Southern Quebec (Canada). *J. Hydrol.* 407 (1–4), 153–163