

Kinerja Program *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT) yang Dimodifikasi untuk Menduga Debit Sub-DAS Cimanuk Hulu

Muhammad Fakhri Dzulfiqar¹, Asep Sapei^{1*}

¹ Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Jl. Raya 5 Dramaga, Kampus IPB Dramaga, PO BOX 220, Bogor, Jawa Barat, Indonesia 16680

* penulis koresponden: asepsapei@apps.ipb.ac.id

Abstrak: *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) merupakan sebuah model hidrologi yang dikembangkan di Amerika Serikat untuk menganalisis dampak dari perubahan tata guna lahan terhadap hasil air (debit) dan sedimentasi. Model ini telah banyak diterapkan di Asia. Akan tetapi, neraca air di dalam model SWAT menggunakan neraca air untuk tanaman yang ditanam pada lahan kering (*up land*) termasuk tanaman padi. Di Asia, khususnya di Indonesia, tanaman padi umumnya ditanam di lahan sawah. Untuk menyesuaikan dengan kondisi lahan sawah, model SWAT telah dimodifikasi dengan menerapkan algoritma sawah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja model SWAT yang dimodifikasi untuk menduga debit Sub-DAS Cimanuk Hulu yang bersawah. Penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil model SWAT yang dimodifikasi dengan hasil model SWAT original dan hasil model SWAT dengan *feature pot-hole*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model SWAT yang dimodifikasi dapat menduga debit relative lebih baik dibandingkan dengan model SWAT original (tanpa algoritma sawah) yang ditunjukkan oleh nilai determinasi (R^2) dan Nash-Sutcliffe efficiency (NSE). Nilai R^2 dari hasil kalibrasi model SWAT yang dimodifikasi, SWAT original lahan kering dan model SWAT *pot-hole* berturut-turut adalah 0.569, 0.494 dan 0.544. Sedangkan nilai NSE dari hasil kalibrasi model SWAT yang dimodifikasi, SWAT original lahan kering dan model SWAT *pot-hole* berturut-turut adalah 0.521, 0.420 dan 0.503.

Kata kunci : debit, DAS, sawah, SWAT yang dimodifikasi

Diterima: 19 September 2023
Disetujui : 22 Desember 2023

Sitasi:
Dzulfiqar, Sapei. Kinerja Program *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT) yang Dimodifikasi untuk Menduga Debit Sub-DAS Cimanuk Hulu. *J. Teknik Sipil dan Lingkungan*. 2023; 8 [3]: 157-166., <https://doi.org/10.29244/jsil.8.3.157-166>

1. Pendahuluan

Daerah aliran sungai (DAS) merupakan wilayah tangkapan air yang berpengaruh besar terhadap ketersediaan air di suatu daerah. Pengelolaan daerah aliran sungai (DAS) perlu dilakukan sebaik mungkin untuk menjaga ketersediaan dan kualitas air [1]. Penduduk yang semakin bertambah mengeksploitasi sumber daya tanah dan air untuk memenuhi kebutuhannya. Kebutuhan tersebut terdiri dari beberapa sektor seperti domestik, pertanian, energi, dan industri. Kebutuhan tersebut seringkali tidak berbanding lurus dengan ketersediaan air yang berkelanjutan serta tingkat kualitas air yang tersedia terkadang kurang baik [2].

Ketersediaan air di daerah aliran sungai (DAS) perlu dianalisis untuk mengetahui cukup atau tidaknya jumlah air untuk memenuhi kebutuhan penduduk sekitar DAS. Potensi ketersediaan air dapat dilakukan melalui pengelolaan sumberdaya air. Apabila ketersediaan air tidak cukup, maka perlu upaya untuk memenuhi kebutuhan air tersebut dengan mengoptimalkan parameter yang berpengaruh terhadap peningkatan debit air sungai. Selain itu,

perlu adanya pengoptimalan ketersediaan air dengan meningkatkan kemampuan dan kapasitas penyimpanan air tanah supaya air hujan tidak langsung mengalir ke laut dalam bentuk runoff [3].

Model Soil and Water Assessment Tools (SWAT) adalah model yang dikembangkan di Amerika dan digunakan untuk menganalisis pengaruh manajemen lahan terhadap debit, kualitas air dan sedimentasi di suatu daerah aliran sungai. Model SWAT juga telah banyak digunakan di Asia. Model SWAT digunakan untuk mengevaluasi dampak perubahan iklim, penggunaan lahan, dan pengelolaan lahan terhadap karakteristik hidrologi [4]. Namun perhitungan mengenai neraca air (water balance) yang ada di model SWAT untuk tanaman padi disamakan dengan tanaman lainnya, yang berupa tanaman-tanaman lahan kering (upland). Pada model SWAT juga terdapat fitur pot-hole untuk lahan yang tergenangi. Namun fitur pot-hole ini masih sangat berbeda dengan lahan sawah. Sehingga, model SWAT ini kurang sesuai untuk menduga debit dari DAS yang mempunyai lahan sawah. Stiyanto (2015) memodifikasi model SWAT berdasarkan algoritma sawah yang dikembangkan oleh Sakaguchi et.al. (2014), yaitu dengan merubah algoritma bentuk tampungan, algoritma perkolasi dan algoritma evaporasi [6]. Kemudian Fausan (2022) melakukan modifikasi lanjutan dengan memodifikasi algoritma periode tanam dan tinggi genangan maksimum, yang memberikan hasil dugaan debit S. Maros yang lebih baik dibandingkan dengan model SWAT original [7].

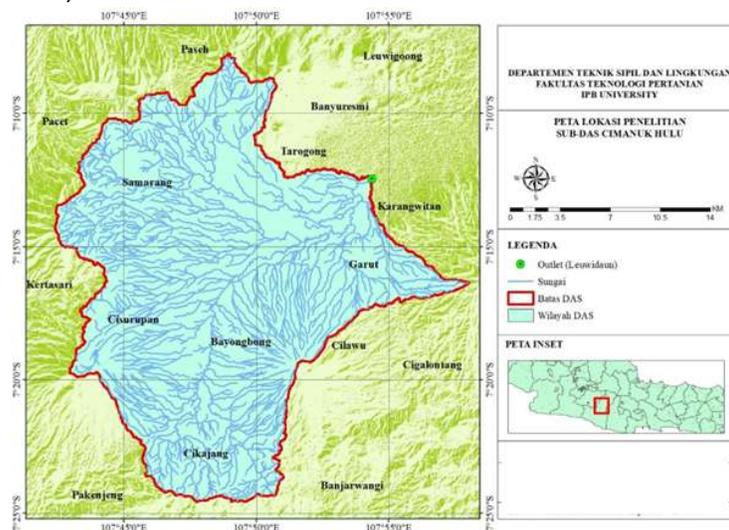
Sub-DAS Cimanuk Hulu merupakan bagian dari DAS Cimanuk yang mempunyai sungai terpanjang di Jawa Barat. Hulu dari Sub-DAS Cimanuk Hulu terletak di kaki Gunung Papandayan, Kabupaten Garut. Lahan sawah di Sub-DAS Cimanuk hulu sekitar 21.70 % dari seluruh luas sub-DAS. Pemanfaatan potensi ekonomi wilayah-wilayah di sekitar hulu DAS Cimanuk akan berpengaruh terhadap kemampuan Sungai Cimanuk dalam menyediakan kebutuhan air untuk irigasi persawahan di sekitar area DAS Cimanuk [5]. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja model SWAT yang dimodifikasi untuk menduga debit Sub-DAS Cimanuk Hulu yang bersawah.

2. Metode

Penelitian dilakukan dari bulan Februari sampai Juni 2023 dan daerah kajian Sub-DAS Cimanuk Hulu. Peta lokasi Sub-DAS Cimanuk Hulu disajikan pada Gambar 1.

2.1. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan adalah seperangkat komputer dengan menggunakan perangkat lunak diantaranya yaitu: Microsoft Excel, ArcGIS 10.3 plugin ArcSWAT 2012, ArcSWAT 2012 modifikasi (dengan algoritma sawah) dan SWATCUP 2012.

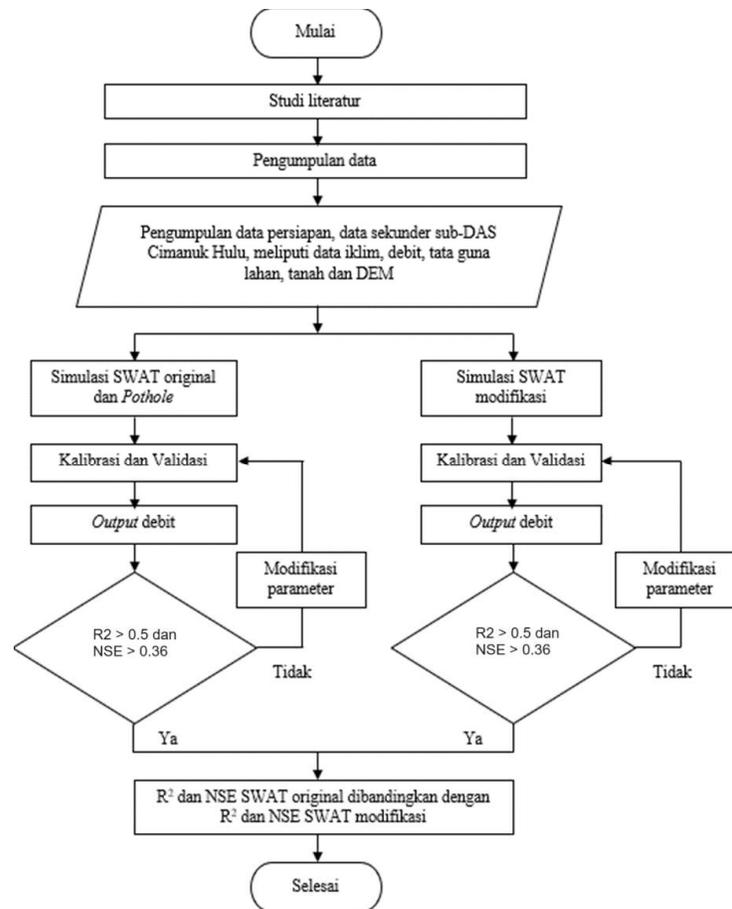


Gambar 1. Peta Lokasi Sub-DAS Cimanuk Hulu

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: (1) data iklim dan data curah hujan harian yang diperoleh dari data online BMKG tahun 2018-2022 ; (2) data debit harian untuk outlet Leuwidaun yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Cimanuk – Cisanggarung tahun 2018-2022 ; (3) peta tata guna lahan diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) ; (4) Digital elevation model (DEM) diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) ; (5) peta tanah skala 1 : 250.000 diperoleh dari Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (BPSLDP).

2.2. Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan dimulai dari pengumpulan data sekunder, studi pustaka, pengolahan data dan penyusunan laporan. Kinerja model dievaluasi menggunakan nilai koefisien determinasi (R^2) dan Nash Sutcliffe Efisiensi (NSE) berdasarkan perbandingan antara debit simulasi dengan debit observasi. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 .



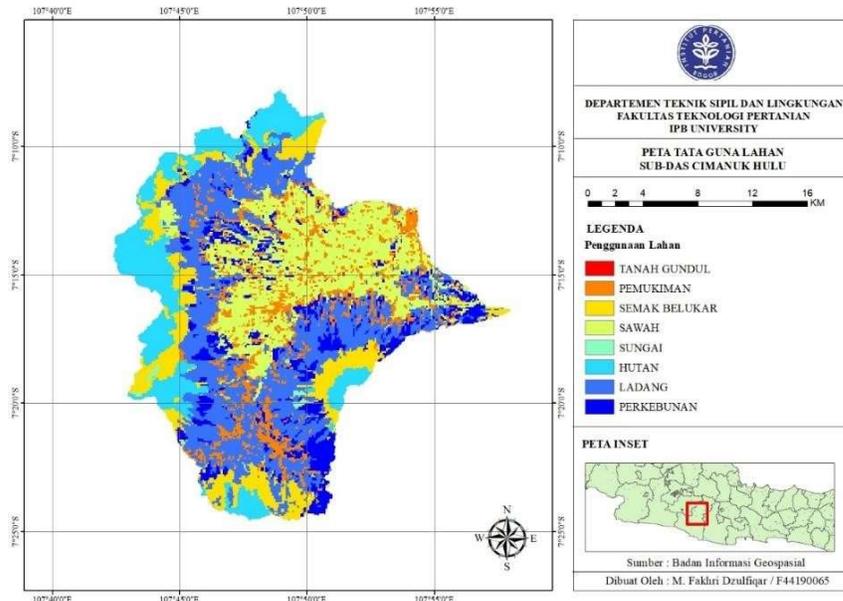
Gambar 2. Diagram alir

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Sub-DAS Cimanuk Hulu

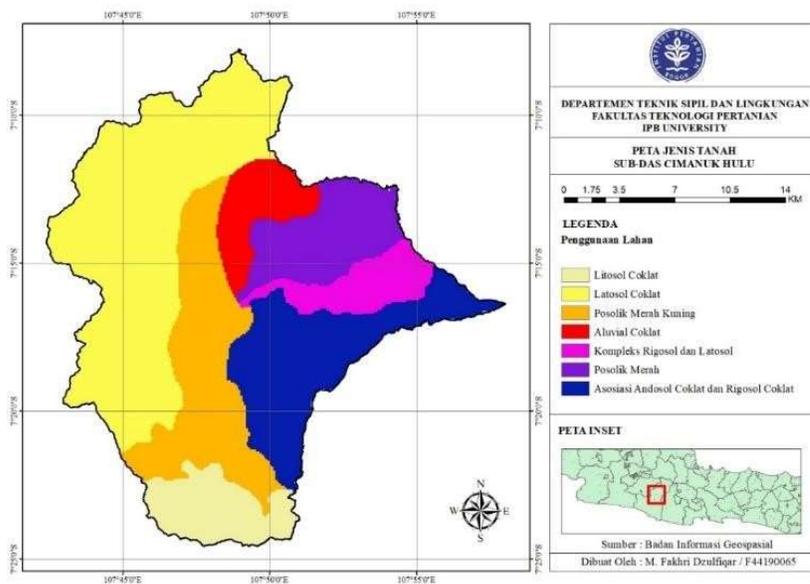
Sub-DAS Cimanuk Hulu merupakan bagian dari DAS Cimanuk yang mempunyai sungai terpanjang di Jawa Barat. Sub-DAS Cimanuk Hulu merupakan bagian DAS Cimanuk yang hulunya terletak di kaki Gunung Papandayan, Kabupaten Garut. Pos pengukuran debit di Sub-DAS Cimanuk hulu yang menjadi outlet adalah Pos pengukuran Leuwidaun. Luas Sub-DAS Cimanuk Hulu sebesar 44,563,762 Ha. Iklim di wilayah Kabupaten Garut (area sekitar Sub-DAS Cimanuk Hulu) termasuk ke dalam kategori daerah

beriklim tropis basah (humid tropical climate). Tata guna lahan Sub-DAS Cimanuk Hulu didominasi oleh ladang seluas 12,967,198 Ha (29.13 %). Peta tata guna lahan Sub-DAS Cimanuk dapat dilihat pada Gambar 3.

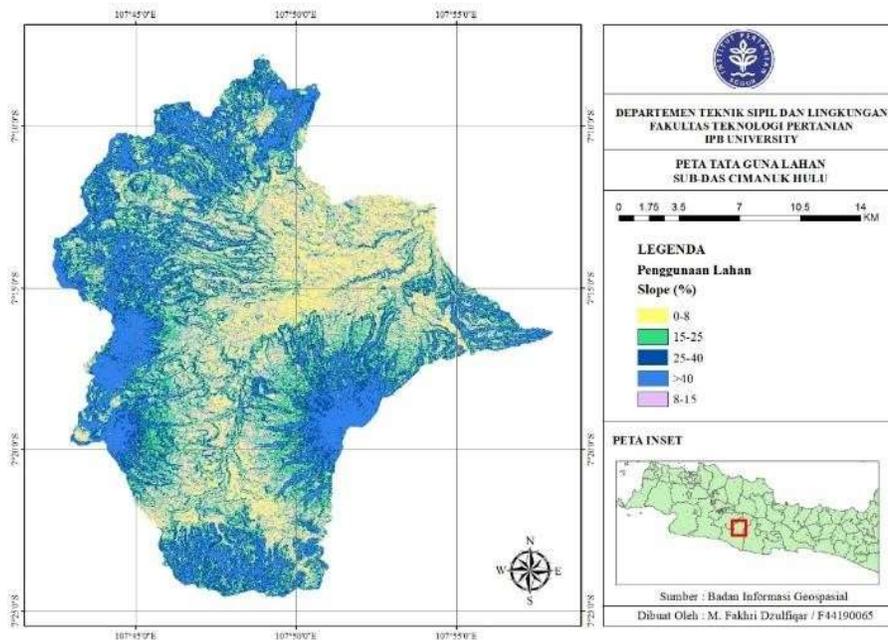


Gambar 3. Peta tata guna lahan Sub-DAS Cimanuk Hulu

Jenis tanah di Sub-DAS Cimanuk Hulu terdiri dari 7 jenis, yaitu yaitu posolik merah kuning, kompleks rigosol dan latosol, latosol, aluvial coklat, litosol coklat, posolik merah, dan asosiasi andosol coklat dan rigosol coklat. Jenis tanah didominasi oleh jenis tanah latosol coklat seluas 16,444,494 Ha (36.94 %). Peta distribusi jenis tanah Sub-DAS Cimanuk Hulu selengkapnya disajikan pada Gambar 4. Kemiringan lahan Sub-DAS Cimanuk Hulu didominasi oleh kemiringan 15–25 %, yaitu seluas 10,916,139 Ha (24.52 %). Peta kemiringan lahan di Sub-DAS Cimanuk Hulu dapat dilihat pada Gambar 5.



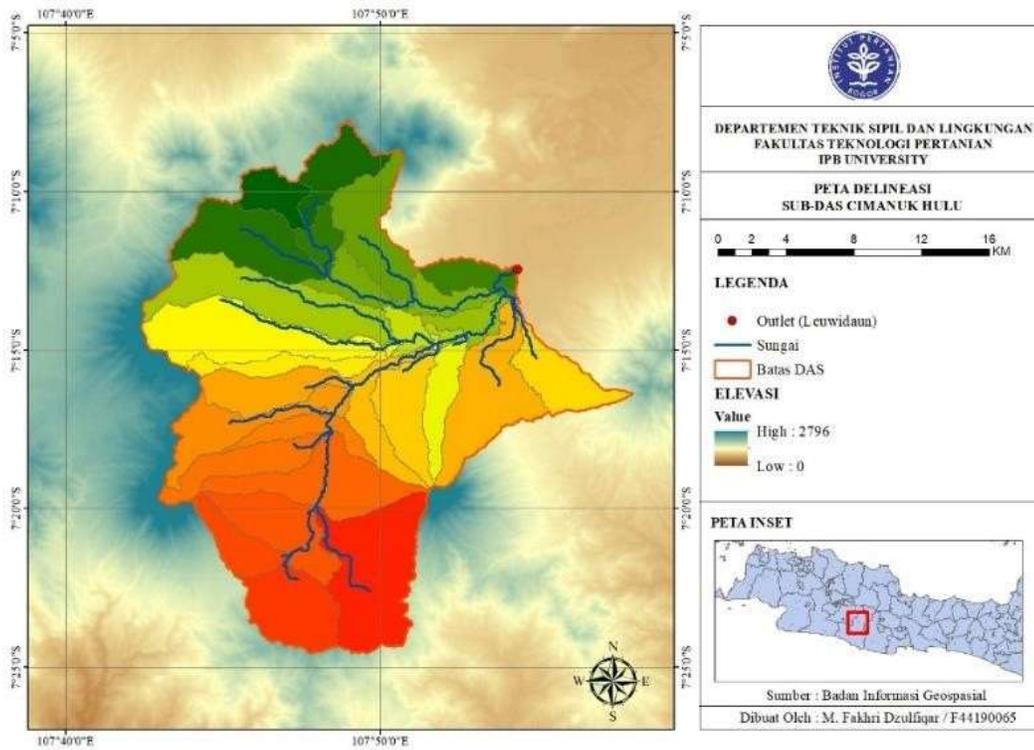
Gambar 4. Peta Jenis Tanah Sub-DAS Cimanuk Hulu



Gambar 5. Peta Kemiringan Lahan Sub-DAS Cimanuk Hulu

3.2 Delineasi Sub-DAS Cimanuk Hulu

Delineasi Sub-DAS Cimanuk Hulu dilakukan menggunakan ArcSWAT 2012 dengan outlet Leuwidaun. Proses delineasi menghasilkan 33 sub-basin di area Sub-DAS Cimanuk Hulu. Peta delineasi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta Delineasi Sub-DAS Cimanuk Hulu

3.3 Pembentukan HRU (Hydrological Response Unit)

Pembentukan HRU (*Hydrological Response Unit*) digunakan untuk menganalisis pengaruh hidrologi terhadap kawasan yang dianalisis [10]. HRU terbentuk dari *overlay* antara peta tata guna lahan, peta jenis tanah, dan peta kemiringan lahan. HRU merupakan unit analisis terkecil yang digunakan dalam perhitungan model SWAT. Pembentukan HRU menggunakan *threshold* sebesar 20%, yang bertujuan bila luas poligon kurang dari 20% maka akan digabungkan dengan poligon terdekat. HRU yang terbentuk sebanyak 196 HRU.

3.4 Simulasi Debit Harian

Simulasi pendugaan debit dengan model SWAT dilakukan untuk menduga nilai debit harian. Data yang diperlukan berupa data iklim selama 5 tahun (2018-2022) yang terdiri dari: data curah hujan (*rainfall*), temperatur (*temperature*), kelembaban (*relative humidity*), radiasi matahari (*solar radiation*), dan kecepatan angin (*wind speed*). Data iklim dimasukkan ke dalam ArcSWAT 2012 dalam format *.wgn* (*weather generator*). Simulasi dilakukan dengan menggunakan model SWAT yang dimodifikasi dengan kondisi: 1) tinggi genangan maksimum di lahan sawah sebesar 150 mm, 2) pola tanam di lahan sawah padi-padi-palawija dengan masing-masing masa tanam: padi 1 90 hari, padi 2 90 hari dan palawija 85/86 hari, 3) tanaman palawija yang ditanam disesuaikan dengan keadaan lapangan (Data BPS) berupa: bawang merah (*shallot*), cabai (*chilli*), kentang (*potato*), kubis (*cabbage*), tomat (*tomato*), bawang putih (*garlic*), bawang daun (*spring onion*), kacang merah (*red beans*), petsai/sawi (*chinese cabbage*), wortel (*carrot*), buncis (*string bean*) dan tanaman sayuran lainnya. Untuk membandingkan hasil juga dilakukan simulasi dengan model SWAT original (*fitur lahan kering dan pot hole*). Simulasi awal (sebelum kalibrasi) dilakukan untuk periode tahun 2020 – 2021. Kurva debit hasil simulasi yang dibandingkan dengan debit observasi disajikan pada Gambar 7.

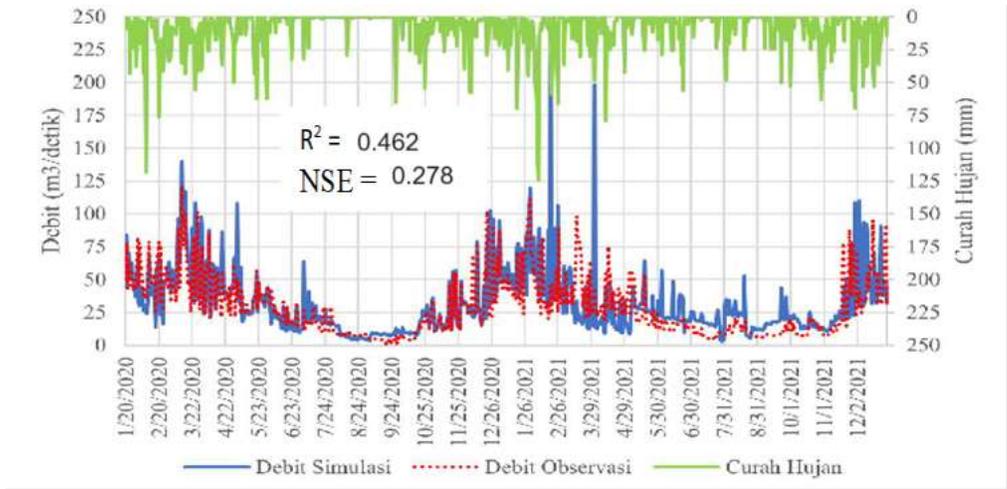
Nilai R^2 dari simulasi model SWAT yang dimodifikasi, SWAT original lahan kering dan model SWAT *pot-hole* berturut-turut adalah 0.462, 0.471 dan 0.476. Sedangkan nilai NSE dari simulasi model SWAT yang dimodifikasi, SWAT original lahan kering dan model SWAT *pot-hole* berturut-turut adalah 0.278, 0.178 dan 0.236.

Dari Gambar 7, nilai R^2 dan nilai NSE terlihat bahwa dari simulasi awal (sebelum kalibrasi) ketiga model ini menunjukkan kinerja yang kurang baik, dan model SWAT yang dimodifikasi memberikan hasil NSE yang paling tinggi.

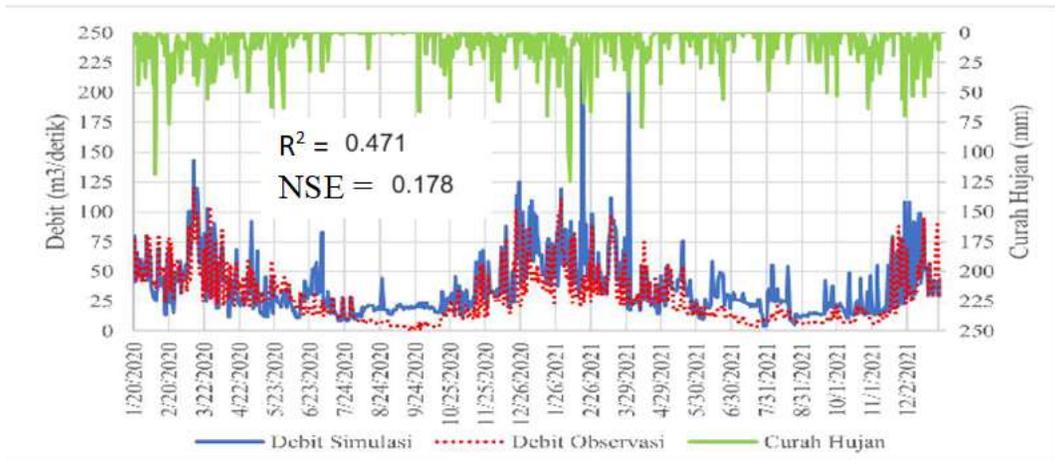
3.5 Kalibrasi

Kalibrasi model digunakan untuk meningkatkan koherensi antara respon hidrologi antara observasi di lapangan dengan simulasi aplikasi [13]. Proses kalibrasi dilakukan menggunakan aplikasi SWAT-CUP dengan metode SUFI2 (*Sequential Uncertainty Fitting*). Parameter yang dipilih pada proses kalibrasi sebanyak 21 parameter yang berpengaruh besar terhadap debit. Kalibrasi juga dilakukan untuk tahun 2020 dan 2021. Kurva debit hasil kalibrasi yang dibandingkan dengan debit observasi disajikan pada Gambar 8.

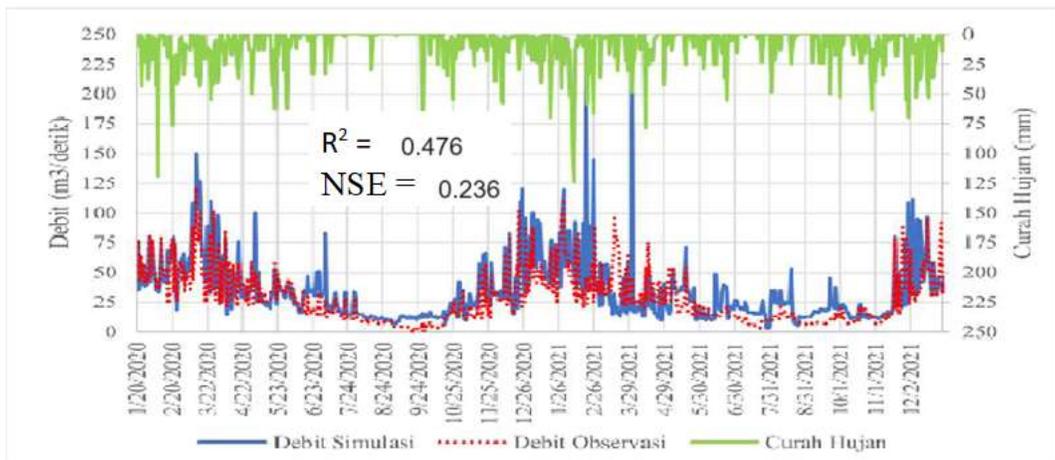
Nilai R^2 dari hasil kalibrasi model SWAT yang dimodifikasi, SWAT original lahan kering dan model SWAT *pot-hole* berturut-turut adalah 0.569, 0.494 dan 0.544. Sedangkan nilai NSE dari hasil kalibrasi model SWAT yang dimodifikasi, SWAT original lahan kering dan model SWAT *pot-hole* berturut-turut adalah 0.521, 0.420 dan 0.503. Dari Gambar 8, nilai R^2 dan nilai NSE hasil kalibrasi terlihat bahwa hasil kalibrasi ketiga model menunjukkan kinerja yang cukup baik (*satisfactory*) [12], dan model SWAT yang dimodifikasi memberikan hasil R^2 dan NSE yang paling tinggi.



(a) SWAT dimodifikasi

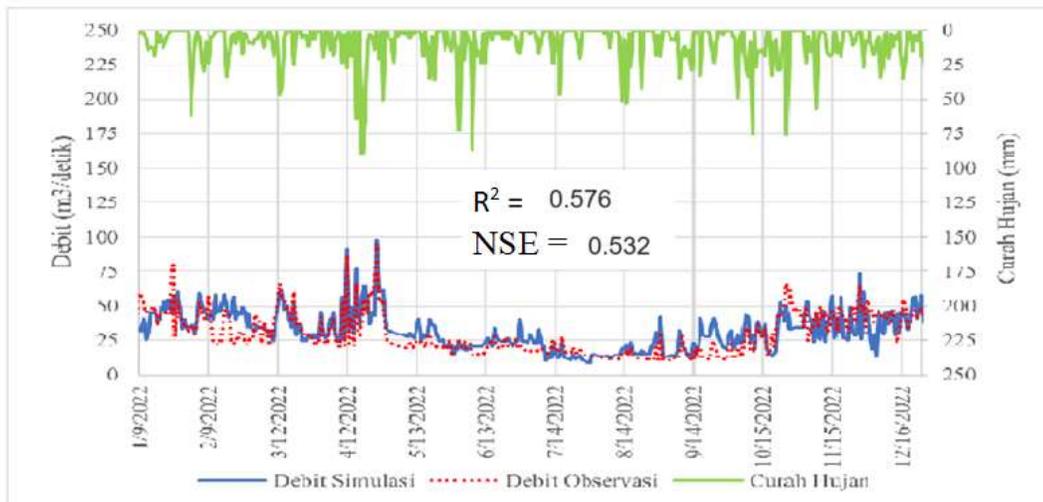


(b) SWAT original lahan kering

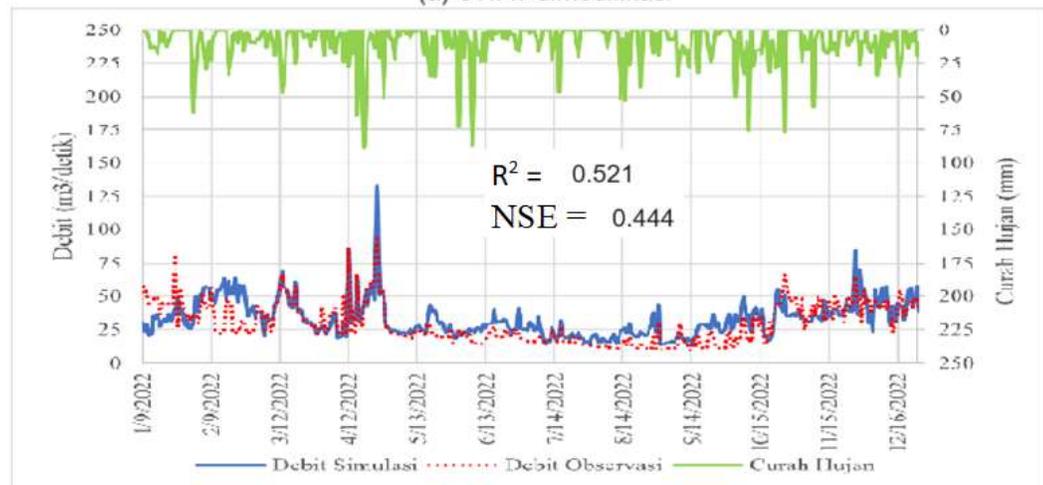


(c) SWAT original pot-hole

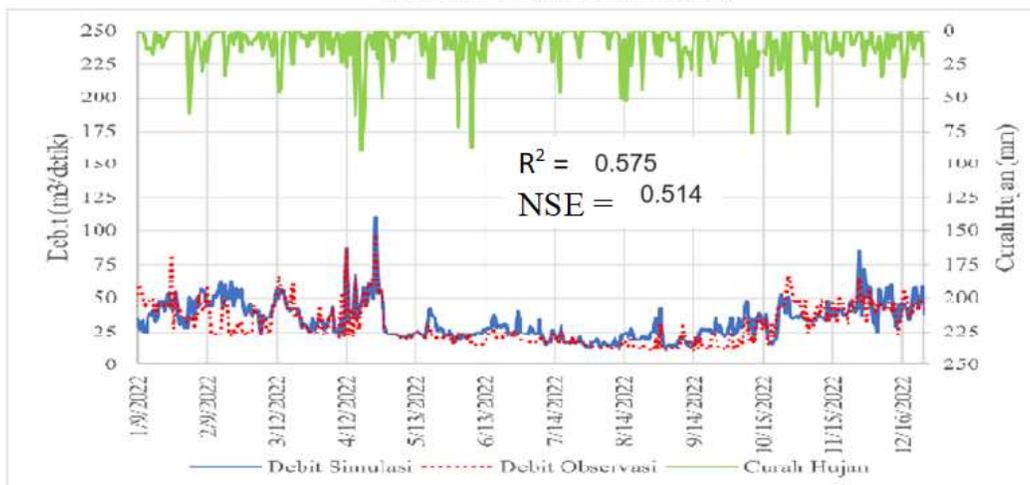
Gambar 8. Debit Simulasi dan Debit Observasi Setelah Kalibrasi



(a) SWAT dimodifikasi



(b) SWAT original lahan kering



(c) SWAT original pot-hole

Gambar 9. Debit Simulasi dan Debit Observasi setelah validasi

3.6. Validasi

Validasi adalah proses pengecekan model untuk mendapatkan gambaran ketidakpastian yang dimiliki oleh suatu model untuk memprediksi proses hidrologi [12]. Validasi dilakukan dengan menggunakan nilai 21 parameter yang diperoleh pada proses kalibrasi dan menggunakan data tahun 2022. Kurva debit hasil validasi yang dibandingkan dengan debit observasi disajikan pada Gambar 9.

Nilai R^2 dari hasil validasi model SWAT yang dimodifikasi, SWAT original lahan kering dan model SWAT *pot-hole* berturut-turut adalah 0.576, 0.521 dan 0.575. Sedangkan nilai NSE dari hasil validasi model SWAT yang dimodifikasi, SWAT original lahan kering dan model SWAT *pot-hole* berturut-turut adalah 0.532, 0.444 dan 0.514.

Dari Gambar 9, nilai R^2 dan nilai NSE hasil validasi juga menunjukkan bahwa hasil validasi ketiga model menunjukkan kinerja yang cukup baik (*satisfactory*) [12], dan model SWAT yang dimodifikasi memberikan hasil R^2 dan NSE yang paling tinggi.

4. Kesimpulan

Modul SWAT yang dimodifikasi berdasarkan algoritma sawah memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan modul SWAT original lahan kering maupun dengan modul SWAT original *pot-hole* dalam menduga debit Sub-DAS Cimanuk Hulu, yang ditunjukkan oleh nilai R^2 dan NSE yang paling tinggi.

Nilai R^2 dari hasil kalibrasi model SWAT yang dimodifikasi, SWAT original lahan kering dan model SWAT *pot-hole* berturut-turut adalah 0.569, 0.494 dan 0.544. Sedangkan nilai NSE dari hasil kalibrasi model SWAT yang dimodifikasi, SWAT original lahan kering dan model SWAT *pot-hole* berturut-turut adalah 0.521, 0.420 dan 0.503.

Daftar Pustaka

- [1] Rau MI, Pandjaitan N, Sapei A. Analisis debit sungai dengan menggunakan model SWAT pada DAS Cipasauran, Banten. *Jurnal Keteknik Pertanian*. 2015. 3(2): 113-120.
- [2] Qadri S. Analisis debit sungai menggunakan model Soil and Water Assessment Tools di daerah aliran sungai Bonto Saile Kabupaten Kepulauan Selayar [skripsi]. Universitas Hasanuddin. Makassar. 2022
- [3] Irsyad F, Ekaputra EG. Analisis wilayah konservasi daerah aliran sungai (DAS) Kuranji dengan aplikasi SWAT. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*. 2015. 19 (1) : 1410-1920
- [4] Izzah S. Analisis debit sungai Gadjahwong dengan menggunakan model *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT) di *outlet* Wonokromo [skripsi]. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta. 2021.
- [5] Fatimah A. *Analisis debit Sub-DAS Cimanuk Hulu menggunakan program Soil and Water Assessment Tools (SWAT) yang dimodifikasi* [skripsi]. IPB University. Bogor. 2020
- [6] Stiyanto E. 2015. Pengembangan modul padi sawah untuk analisis hasil air menggunakan program soil and water assessment tools (SWAT) [tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor
- [7] Fausan A. 2022. *Modifikasi algoritma sawah untuk prediksi hasil air DAS Maros menggunakan Soil and Water Assessment Tools (SWAT)* [tesis]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- [8] Munggaran G. Analisis respon hidrologi dan simulasi teknik konservasi tanah dan air Sub-DAS Cimanuk Hulu [tesis]. IPB University. Bogor. 2017.
- [9] Susanto E, Setiawan BI, Suharnoto Y, Liyantono. Evaluation of water debit in oil palm plantation watershed using the soil water assessment tool (SWAT). *International Journal Civil Engineering Technology*. 8(6) : 332–341. 2017
- [10] Surahman S. Perubahan penggunaan lahan dan dampaknya terhadap karakteristik hidrologi Sub-DAS Tanralili Provinsi Sulawesi Selatan menggunakan Model SWAT. *Jurnal Agrotan*. 3(2): 50-67. 2017.

- [11] Motovilov YG, Gottschalk L, Engeland K, Rodhe A. Validation Of Distributed Hydrological Model Against Spatial Observations. *Journal Agric Forest Meteorology*. 98 (10) : 257-277. 1999.
- [12] Abbaspour KC. SWAT-CUP2 : SWAT Calibration and Uncertainty Programs. Duebendorf: Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM). Eawas (SW) ; 2008. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- [13] Indarto. Hidrologi, Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi. Jakarta (ID); 2012. Bumi Aksara.