



RESPON MODEL HBV DAN MODEL TANGKI TERHADAP ESTIMASI DEBIT ALIRAN DI DAS BOGOWONTO, JAWA TENGAH

HBV AND TANK MODELS' RESPONSE TO THE FLOW DISCHARGE ESTIMATION IN BOGOWONTO WATERSHED, CENTRAL JAVA

Fitri Yusti Andini¹⁾ Bambang Dwi Dasanto²⁾* I Putu Santikayasa³⁾

^{1,2,3)}Alumni Institut Pertanian Bogor

Jl. Raya Dramaga, Kabupaten Bogor 16680, Indonesia

^{2,3)}Institut Pertanian Bogor

Jl. Raya Dramaga, Kabupaten Bogor 16680, Indonesia

*Correspondent email: bambangdwi@apps.ipb.ac.id

Diterima: 6 Februari 2023; Direvisi: 10 Juli 2023; Disetujui: 12 Oktober 2023

ABSTRACT

The scarcity of discharge data compared to rainfall data have driven the development of the rainfall-runoff model, such as the HBV and Tank models. This research aims to apply the rainfall-runoff model in the Bogowonto watershed and to assess the model outputs. The research consisted of two main stages: 1) model calibration and validation; 2) model evaluation which assesses the model performance based on the Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) index and the coefficient of determination (R^2). The results showed that the pattern of the simulation discharge was in accordance with the observed discharge pattern; indicating performance of both models was good ($NSE > 0.7$ and $R^2 > 0.65$). However, the performance of both models in the daily simulation, particularly at the beginning of the simulation period, is still not satisfactory as the simulated discharge does not match the observed discharge. In the next simulation period, the discharge of the model results were in accordance with the observed discharge; this means the performance of the model was better. In the monthly simulation, the performance of both models is not yet satisfactory during the wet season, but it is good during the dry season. Based on the results of the daily and monthly simulations, both models demonstrate good performance under low precipitation conditions, but their performance declines under high precipitation conditions

Keywords: Bogowonto watershed; HBV; rainfall-runoff model; simulation; tank

ABSTRAK

Kelangkaan data debit dibandingkan data curah hujan memacu perkembangan model hujan-limpasan, seperti model HBV dan model Tangki. Tujuan penelitian ini adalah menerapkan model hujan-limpasan pada DAS Bogowonto dan menilai luaran hasil model tersebut. Penelitian ini terdiri dari dua tahap. Tahap pertama adalah kalibrasi dan validasi model. Tahap kedua mengevaluasi model, yaitu menilai kinerja model berdasarkan status indeks NSE dan nilai koefisien determinasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum pola debit simulasi telah sesuai dengan pola debit observasi, ini berarti kinerja kedua model adalah baik ($NSE > 0,7$ dan $R^2 > 0,65$). Namun, kinerja kedua model dalam simulasi harian, khususnya pada waktu awal simulasi, masih belum baik karena debit simulasi tidak sesuai dengan debit observasi. Pada periode simulasi selanjutnya, debit hasil model telah sesuai dengan debit observasi; artinya, kinerja model telah semakin baik. Dalam simulasi bulanan, saat musim basah kinerja kedua model masih belum baik tetapi saat musim kering kinerja kedua model menunjukkan hasil yang baik. Berdasarkan hasil simulasi harian dan bulanan, kedua model menunjukkan kinerja yang baik saat hujan rendah tetapi saat hujan tinggi kinerja model mengalami penurunan.

Kata Kunci: DAS Bogowonto; HBV; model hujan-limpasan; simulasi; tangki

PENDAHULUAN

Salah satu informasi penting dalam pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah memahami pola dan besar (*magnitude*) aliran sungai (debit sungai). Alasannya, debit sungai menggambarkan respon hidrologi dari suatu DAS. Perubahan penggunaan/tutupan lahan termasuk iklim dalam suatu DAS akan memengaruhi karakteristik debit - baik pola musiman maupun tahunan (Wahyu *et al.*, 2010).

Keterbatasan data debit atau aliran sungai, terutama di Indonesia membuat pemodelan hujan menjadi debit atau limpasan sering dilakukan (Pratiwi *et al.*, 2016). Alasannya, data curah hujan jauh lebih banyak daripada data debit baik secara kuantitas maupun sebaran stasiun penakar hujan. Konsep model hidrologi ini mentransformasikan data curah hujan untuk menduga nilai debit. Model transformasi hujan-limpasan dapat membantu untuk memahami proses-proses hidrologi dan memantau kualitas dan kuantitas sumber daya air.

Model hujan-limpasan telah digunakan secara luas selama dekade terakhir (Goodarzi *et al.*, 2021) dan banyak diaplikasikan di DAS Indonesia, antara lain: Tank Model, Metode Mock, HBV, GR4J, GR2M, NRECA, dan Rainrun (Kesuma *et al.*, 2013; Pratiwi *et al.*, 2016). Setiap model ini memiliki struktur model, parameter dan *input* data yang berbeda sehingga memerlukan perbaikan struktur model konseptualnya (Huang *et al.*, 2019). Pada dasarnya, model dapat digunakan setelah model tersebut dikalibrasi atau nilai parameternya dioptimasi sebelum digunakan lebih lanjut (Nurdhawata & Dasanto, 2011). Parameter biasanya diasumsikan tetap, namun dalam beberapa model parameter bergantung pada waktu atau keadaan (Tanika *et al.*, 2013).

Model HBV dan Model Tangki merupakan model konseptual dan kedua model ini mampu menduga debit dari suatu DAS. Model HBV (*Hydrologiska Byrns Vattenavdelning*) merupakan model hujan-limpasan yang bersifat semi-terdistribusi (Nonki *et al.*, 2021). Model HBV mampu menyimulasikan debit berdasarkan data *time-series* hujan, suhu udara, dan evapotranspirasi potensial (Masitoh & Dasanto, 2018; Seibert & Vis, 2012) dan luarannya dapat digunakan untuk perencanaan maupun pengelolaan infrastruktur sumber daya air (Bizuneh *et al.*, 2021; Tibangayuka *et al.*, 2022). Tank model atau Model Tangki merupakan model hidrologi yang dikembangkan oleh Sugawara (Basri, 2013). Model ini merupakan model konseptual untuk menentukan limpasan dari data hujan. Zhou *et al.* (2022) mengemukakan bahwa data hujan merupakan komponen krusial dalam pemodelan hidrologi, seperti halnya Model

Tangki. Dalam perhitungan curah hujan menjadi limpasan, Model Tangki mengilustrasikan suatu aliran sebagai suatu rangkaian tangki, curah hujan sebagai *input* dan luarannya (*output*) berupa limpasan permukaan, aliran antara, aliran bawah permukaan tanah dan aliran dasar serta fenomena infiltrasi, perkolasi dan penyumbatan air dalam tangki (Basri, 2013; Rahman, 2011).

Dalam konteks pemilihan model hidrologi (misalnya Model HBV atau Tangki) yang tepat untuk menyimulasikan debit di *outlet* DAS selalu menjadi titik kajian yang menantang (Bizuneh *et al.*, 2021). Keterpilihan model hidrologi untuk menduga debit dugaan sangat ditentukan oleh beberapa hal, yaitu: (1) tingkat kemiripan (pola dan *magnitude*) antara debit dugaan dan debit observasi DAS, (2) kebutuhan data *input* minimal (Nonki *et al.*, 2021) dan data tersebut mudah diakses, dan (3) bermanfaat untuk menyelesaikan permasalahan hidrologi seperti banjir di hilir DAS

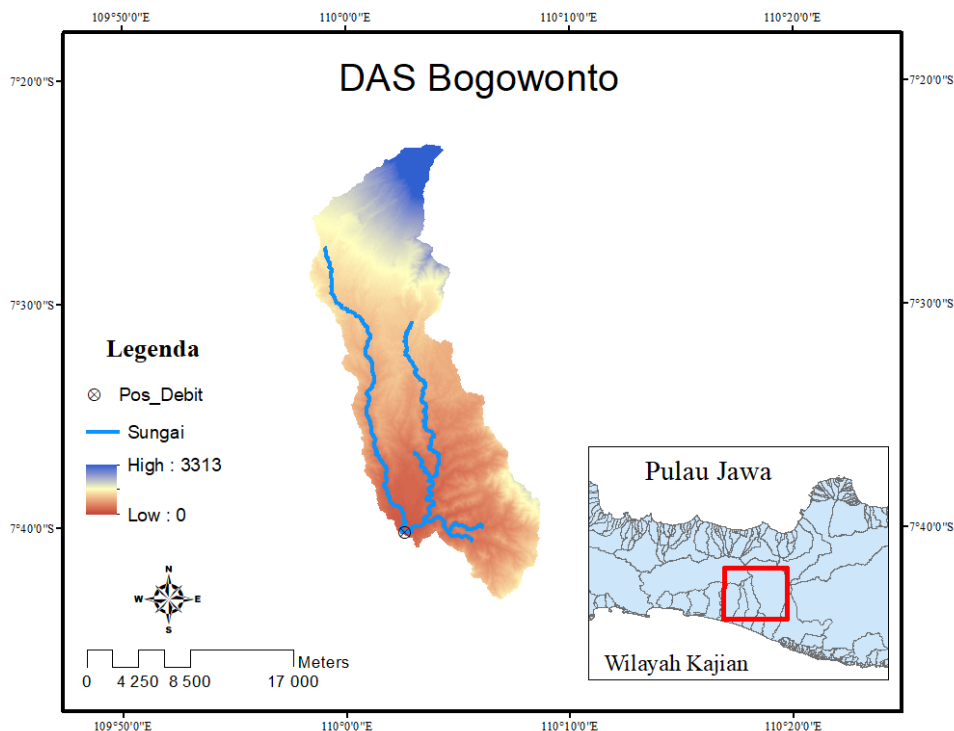
Banjir dapat dikatakan sebagai bencana apabila dampaknya menimbulkan permasalahan terhadap kehidupan manusia seperti timbulnya kerugian, kerusakan dan korban. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana, BNPB (<https://dibi.bnpb.go.id/kbencana2>), banjir merupakan jenis bencana dengan jumlah kejadian paling banyak daripada jenis bencana lainnya. Mitigasi bencana banjir perlu dilakukan untuk mengurangi besaran dampak negatif; artinya, analisis kejadian banjir dan identifikasi daerah rawan banjir perlu untuk dilakukan. Dalam rangkaian ini, informasi mengenai model hidrologi yang andal (*reliable*) sangat diperlukan sehingga prediksinya menjadi lebih akurat.

Berdasarkan permasalahan lapangan dan penelitian sebelumnya maka artikel ini bertujuan untuk mempelajari dan mengevaluasi respon Model Hidrologi HBV dan Tangki dalam mengestimasi debit aliran (*discharge of the flow or flow rate*) di *outlet* DAS Bogowonto.

METODOLOGI

Wilayah kajian adalah DAS Bogowonto (Gambar 1) yang masuk dalam Satuan Wilayah Pengelolaan (SWP) DAS Serayu; luas wilayah kajian sekitar 346,9 km². Secara administratif, DAS Bogowonto berada di empat kabupaten, yaitu: (1) Wonosobo (bagian hulu DAS), (2) Magelang (bagian tengah DAS), dan (3) Purworejo serta Kulon Progo (bagian hilir DAS). Seperti ditunjukkan pada Gambar 1, DAS Bogowonto merupakan DAS yang berbentuk memanjang dan banjir sering terjadi di hilir DAS. Berdasarkan kondisi DAS yang sering terpapar banjir maka DAS Bogowonto masuk dalam

DAS



Gambar 1 Wilayah Kajian Penelitian

Prioritas menurut Keputusan Menteri Kehutanan (2009). Artinya, daerah aliran sungai ini membutuhkan penanganan dengan cepat. Salah satu indikasi dari DAS prioritas adalah tingginya limpasan permukaan dan timbulnya genangan banjir di bagian hilir DAS.

Penelitian ini menggunakan perangkat keras seperti komputer dan perangkat lunak yang mencakup Microsoft Office, Notepad, *software* HBV Light dan Tank Model. Data yang digunakan terdiri dari: (i) data curah hujan harian; (ii) data klimatologi dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG); (iii) data debit observasi harian dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air (PUSAIR); dan (iv) data DEMNAS Jawa Tengah. Langkah atau tahap penelitian ini dapat dilihat pada sub bagian berikut.

Curah Hujan Wilayah

Dalam penelitian ini, curah hujan wilayah diestimasi menggunakan metode Polygon Thiessen. Berdasarkan metode tersebut, tiap poligon diwakili oleh satu stasiun hujan dan tiap poligon merepresentasikan luas tertentu. Curah hujan wilayah DAS Bogowonto diestimasi dari tiga stasiun hujan terdekat, yaitu Keradenan (109,99° BT ; 7,73° LS), Bener (110,05° BT ; 7,63° LS) dan Gebang (109,99° BT ; 7,64° LS). Detail perhitungan hujan wilayah (P) dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$P = \frac{P_1.A_1+P_2.A_2+\dots+P_n.A_n}{A_1+A_2+A_n} \dots\dots\dots (1)$$

di mana :
 P₁, P₂, P_n : curah hujan observasi yang terukur di stasiun hujan (mm)
 A₁, A₂, A_n : luas poligon (km²)
 n : banyaknya stasiun hujan

Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan gabungan antara proses evaporasi dan transpirasi. Secara umum, proses ini setara dengan banyaknya air yang digunakan untuk proses pertumbuhan tanaman dan menguapnya air dari permukaan tanah di sekitar tumbuhan itu tumbuh. Perhitungan atau pendugaan evapotranspirasi dapat dilakukan berdasarkan hasil pengukuran panci Klas A ($ET_p = k_p \times E_o$), di mana k_p adalah koefisien panci dan E_o adalah evaporasi panci. Evapotranspirasi selain diperoleh dari hasil pengukuran maka ini dapat diduga menggunakan pendekatan Thornthwaite, Blaney-Criddle, Samani-Hargreaves, Priestley-Taylor, Jensen-Haise, Penman dan Penman-Monteith. Metode Penman-Monteith dapat digunakan untuk menduga evapotranspirasi potensial dengan hasil yang baik; namun, data yang digunakan adalah sangat kompleks (Adiningrum, 2016; Cai *et al.*, 2007). Persamaan Penman-Monteith yang

digunakan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta R_n + \gamma \frac{900}{(T+273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1+0,34U_2)} \dots\dots\dots (2)$$

di mana:

- ET₀ : evapotranspirasi standar (berdasarkan tanaman acuan) (mm/bulan)
- R_n : radiasi surya netto yang jatuh di atas permukaan tanaman (MJ/m²/hari)
- T : suhu udara rata-rata (°C)
- U₂ : kecepatan angin pada ketinggian 2 m di atas permukaan tanah (m/detik)
- e_s : tekanan uap air jenuh (kPa)
- e_a : tekanan uap air aktual (kPa)
- Δ : kemiringan kurva tekanan uap air terhadap suhu (kPa/ °C)
- γ : konstanta psikrometrik (kPa/ °C)

Model Hujan-Limpasan

1. Model Tangki:

Model tangki yang digunakan dalam kajian ini menggunakan empat tangki (lihat Gambar 2) yang disusun secara vertikal dan menggambarkan keberadaan limpasan sebagai jumlah air yang tersimpan di dalam tanah pada suatu DAS. Model Tangki terdiri dari dua saluran, yaitu saluran samping dan bawah. Saluran samping merepresentasikan tempat terjadinya limpasan sedangkan saluran bawah mewakili tempat masuk atau meresapnya air ke tangki yang ada di bawahnya. Secara ringkas deskripsi untuk masing-masing tangki adalah sebagai berikut.

Tangki-1.

Komponen *input* pada bagian ini adalah hujan sedangkan komponen *output* terdiri dari

evapotranspirasi dan infiltrasi. Jika tanah telah jenuh sementara intensitas hujan tetap tinggi maka air hujan tersebut akan menjadi limpasan permukaan (*surface flow*, Ya₂). Air hujan yang telah terinfiltrasi, sebagian akan menjadi aliran bawah permukaan (*sub-surface flow*, Ya₁) dan sebagian yang lain akan masuk ke Tangki-2 melalui lubang bawah (Ya₀) dari Tangki-1.

Tangki-2.

Air yang berasal dari Tangki-1 merupakan komponen *input* pada Tangki-2 dan ini disimpan pada lapisan akuifer-1. Jika ini melebihi kapasitasnya maka air ini akan mengalir menjadi aliran antara (*interflow*, Yb₁) dan berperkolasi ke Tangki-3 melalui saluran atau lubang bawah (Yb₀) dari Tangki-2.

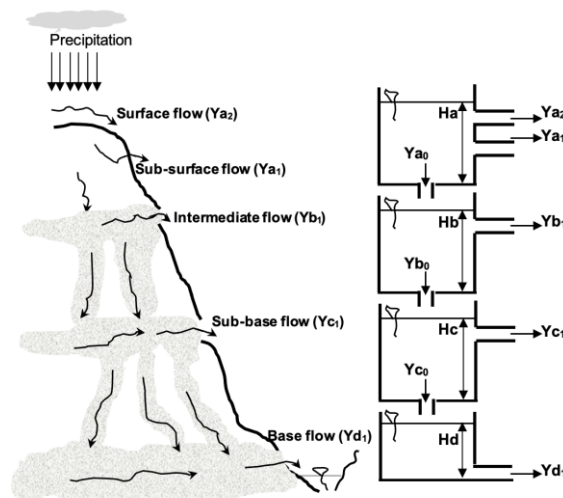
Tangki-3.

Air yang berasal dari Tangki-2 akan disimpan pada akuifer yang ada di Tangki-3. Apabila ini melebihi kapasitasnya maka air akan mengalir menjadi *sub-base flow* (Yc₁) dan sebagian masuk ke akuifer dalam melalui lubang yang ada di bawah (Yc₀) dari Tangki-3.

Tangki-4.

Air yang bersumber dari Tangki-3 akan disimpan pada akuifer dalam; jika ini melebihi kapasitasnya maka air tersebut akan mengalir menjadi aliran dasar (*baseflow*, Yd₁). Selanjutnya, secara keseluruhan air yang ada dalam sistem daerah aliran sungai tersebut akan terakumulasi dalam suatu sungai, Y(t). Persamaan umum dari akumulasi air atau total aliran tersebut dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$Y(t) = Ya(t) + Yb(t) + Yc(t) + Yd(t) \dots\dots (3)$$



Sumber: Setiawan et al., (2003) dengan modifikasi

Gambar 2 Skema Model Tangki Standar

Persamaan 3 menggunakan konsep keseimbangan atau neraca air, detail keseimbangan air pada tiap tangki dapat dideskripsikan sebagai berikut:

$$\frac{dH_a}{dt} = P(t) - ET(t) - Y_a(t) \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{dH_b}{dt} = Y_{a_0}(t) - Y_b(t) \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{dH_c}{dt} = Y_{b_0}(t) - Y_c(t) \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{dH_d}{dt} = Y_{c_0}(t) - Y_d(t) \dots\dots\dots (7)$$

di mana H, P dan ET secara berturut-turut adalah tinggi muka air, curah hujan dan evapotranspirasi. Ya, Yb, Yc, dan Yd adalah komponen aliran horizontal dan Ya₀, Yb₀, Yc₀ merupakan komponen aliran vertikal pada masing-masing tangki.

2. Model HBV

Curah Hujan Efektif dan Kadar Air Tanah

Curah hujan yang jatuh pada suatu DAS akan terpecah jadi dua komponen, yaitu infiltrasi dan limpasan permukaan langsung. Komponen kedua setara dengan curah hujan efektif (Dasanto *et al.*, 2014) dan model HBV mengestimasi komponen ini berdasarkan nilai atau kadar lengas tanah (*Soil Moisture*). Kadar air tanah maksimum di bawah permukaan tanah dinyatakan sebagai parameter kapasitas lapang (*Field Capacity*). Jika kandungan air tanah mendekati kapasitas lapang, maka infiltrasi menurun dan aliran permukaan meningkat. Curah hujan efektif dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$P_{Eff} = \left(\frac{SM}{FC}\right)^\beta P \dots\dots\dots (8)$$

di mana :

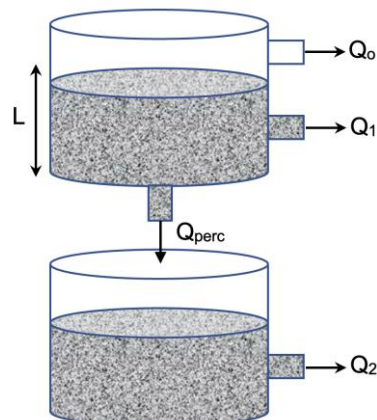
- P_{Eff} : curah hujan efektif
- SM : lengas tanah (*Soil Moisture*)
- FC : kapasitas lapang (*Field Capacity*)
- β : koefisien kemiringan

Aliran Permukaan

Gambar 3 menunjukkan konsep tangki untuk estimasi limpasan di *outlet* suatu DAS dalam model HBV. Secara sistem, model ini terdiri dari dua tangki konseptual; letak tangki dibuat sedemikian rupa berurutan, tangki pertama terletak di atas tangki yang kedua. Tangki pertama untuk memodelkan aliran dekat permukaan (*near surface flow*) sedangkan tangki kedua digunakan untuk menyimulasikan aliran dasar (*baseflow*) atau kontribusi air bumi. Tangki pertama dan kedua dihubungkan oleh aliran perkolasi.

Dalam model HBV, outlet dari tangki pertama ada dua, yaitu Q₀ (*near surface flow*) dan Q₁ (*interflow*). Pada tangki pertama ketika muka air melebihi ambang batas L maka limpasan terjadi dengan cepat (Q₀) dan ini disebut sebagai *quick respon*. Selanjutnya, tangki kedua hanya tersusun oleh satu *outlet*, yaitu Q₂ dan ini merupakan aliran dasar (*baseflow*). Secara hirarki, respon aliran Q₀ lebih cepat daripada Q₁ dan Q₁ lebih cepat daripada Q₂.

Dalam model HBV, pengaturan besarnya respon dari ketiga *outlet* sangat bergantung pada nilai koefisien resesinya, yaitu K₀, K₁ dan K₂ berturut-turut untuk masing-masing outlet Q₀, Q₁ dan Q₂. Nilai koefisien K₁ lebih kecil dari K₀ agar aliran pada Q₀ lebih cepat. Begitu pula dengan K₂, nilainya juga lebih kecil dari K₁. Limpasan total hasil simulasi (Q_s) didapat dari penjumlahan aliran dekat permukaan (Q₀), aliran antara (Q₁) dan aliran dasar (Q₂) yang berasal dari reservoir pertama dan kedua.



Sumber: Aghakouchak & Habib (2010) dengan modifikasi

Gambar 3 Konsep tangki untuk penentuan limpasan permukaan, aliran antara dan aliran dasar pada model HBV

$$Q_s = Q_0 + Q_1 + Q_2 \dots\dots\dots (9)$$

$$Q_0 = \begin{cases} K_0(S_1 - L) \times A; & S_1 > L \\ 0 & ; S_1 < L \end{cases} \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{Interflow (m}^3/\text{s), } Q_1 = K_1 S_1 A \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{Perkolasi (m}^3/\text{s), } Q_{perc} = K_{perc} S_1 A \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{Baseflow (m}^3/\text{s), } Q_2 = K_2 S_2 A \dots\dots\dots (13)$$

di mana :

- S₁ : tinggi muka air pada tangki pertama (mm)
- S₂ : tinggi muka air pada tangki kedua (mm)
- L : ambang batas dari tinggi muka air pada tangki pertama (mm)
- A : luas DAS (km²)

Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan dengan kalibrasi dan validasi dari parameter yang digunakan. Kalibrasi bertujuan untuk menentukan nilai koefisien parameter sehingga debit hasil simulasi model mendekati nilai debit observasi. Kalibrasi dilakukan secara *Trial and Errors* dengan menggunakan perangkat Monte Carlo Simulation yang tersedia di dalam model sehingga didapatkan nilai parameter yang cocok untuk simulasi model. Proses selanjutnya adalah validasi model. Kalibrasi dilakukan dengan data tahun 2008-2009 sedangkan validasi model dilakukan dengan data tahun 2014. Tingkat akurasi hasil simulasi model dilihat berdasarkan nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) dan *koefisien determinasi* (R^2) dan bentuk persamaannya adalah:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \dots\dots\dots (14)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})(Q_{sim} - \overline{Q_{sim}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - \overline{Q_{sim}})^2}} \right]^2 \dots (15)$$

di mana:

- Q_{obs} : debit observasi
- Q_{sim} : debit simulasi
- $\overline{Q_{obs}}$: debit rata-rata observasi
- $\overline{Q_{sim}}$: debit rata-rata simulasi

Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) merujuk pada statistik dinormalisasi yang menentukan besaran (*magnitude*) relatif dari keragaman sisaan (*noise*) dibandingkan keragaman data terukur (*informasi*). Dengan kata lain, NSE akan menunjukkan seberapa baik plot data observasi terhadap data simulasi sesuai grafik garis skala 1:1. Nilai NSE berkisar antara minus tak hingga ($-\infty$) dan satu (1), dengan NSE = 1 sebagai nilai optimal. Berdasarkan hal tersebut, nilai antara 0 dan 1 menunjukkan bahwa tingkat kinerja dari suatu model adalah dapat diterima, sedangkan nilai < 0 menunjukkan bahwa kinerja model itu tidak dapat diterima atau sangat tidak memuaskan (lihat Tabel 1)

Tabel 1 Peringkat Kinerja Model

Peringkat Kinerja	Interpretasi
$0,75 < NSE \leq 1,00$	Sangat Baik
$0,65 < NSE \leq 0,75$	Baik
$0,50 < NSE \leq 0,65$	Memuaskan
$NSE \leq 0,50$	Tidak Memuaskan

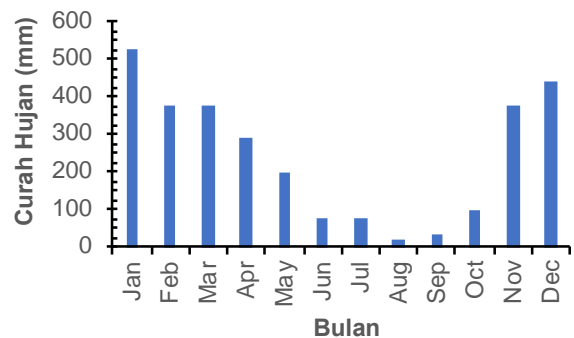
Sumber: Moriasi et al., (2007)

Tolok ukur evaluasi selanjutnya adalah koefisien determinasi (R^2) yang menggambarkan

derajat kolinieritas (keeratan hubungan) antara data hasil simulasi dan data observasi. Koefisien determinasi (R^2) berkisar dari 0 hingga 1, semakin tinggi R^2 maka keragaman (varian) kesalahan data hasil simulasi semakin sedikit dan umumnya nilai yang lebih besar dari 0,5 dianggap sudah dapat diterima (*acceptable*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menunjukkan pola hujan klimatologis di Daerah Aliran Sungai Bogowonto. Berdasarkan Gambar 4 pola curah hujan di Daerah Aliran Sungai Bogowonto adalah monsunal; cirinya adalah memiliki satu puncak musim hujan (unimodal) dalam satu tahun. Curah hujan rendah (musim kering) terjadi pada bulan Juni hingga September, sedangkan curah hujan tinggi (musim basah) terjadi pada bulan Desember hingga Januari. Tingginya curah hujan di wilayah ini menyebabkan banjir di bagian hilir Sungai Bogowonto (terutama beberapa kecamatan di Kabupaten Purworejo); selain banjir, wilayah ini diduga akan mengalami kekeringan saat curah hujan rendah.



Gambar 4 Pola hujan klimatologis DAS Bogowonto

Tinggi-rendahnya curah hujan di DAS Bogowonto akan memengaruhi tinggi atau rendahnya debit di daerah aliran sungai itu. Berdasarkan pemahaman tersebut kajian ini telah memanfaatkan data hujan rata-rata yang jatuh di atas DAS Bogowonto untuk menyimulasikan debit di *outlet* daerah aliran sungai tersebut dengan menggunakan model Hidrologi HBV dan Tangki.

Optimasi Nilai Parameter Model

Model HBV. Sebelum model HBV digunakan untuk kajian lebih lanjut maka peneliti telah melakukan proses kalibrasi (optimasi nilai parameter model) dan validasi model. Dalam kajian ini proses kalibrasi merupakan proses optimasi nilai parameter model, parameter model HBV yang telah dikalibrasi dapat dilihat pada Tabel 2 sedangkan debit hasil simulasi disajikan pada Gambar 5.

Tabel 2 Nilai Optimum Parameter Model HBV

Parameter	Nilai Optimum
PERC	10
UZL	85
K ₀	0,092
K ₁	0,12
K ₂	0,027
FC	487
LP	0,80
BETA	1,00
NSE	0,57

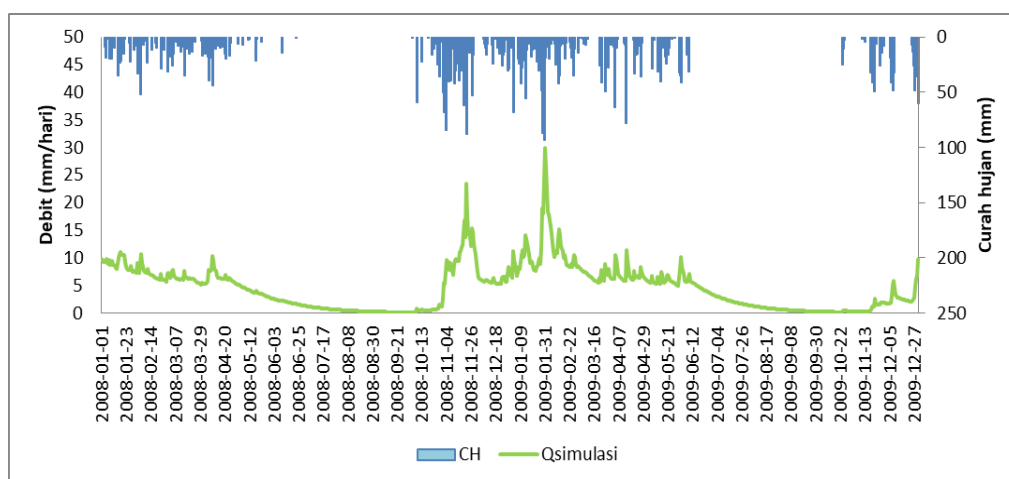
Tabel 2 menunjukkan delapan parameter yang sensitif terhadap debit simulasi sedangkan enam parameter yang lain (TT, CFMAX, SP, SFCF, CFR, dan CWH) tidak dilakukan kalibrasi. Kalibrasi terhadap delapan parameter awal dilakukan dengan cara *trial and error* dengan menggunakan salah satu perangkat HBV yaitu Monte Carlo Simulation. Proses kalibrasi akan dihentikan pada saat nilai parameter mencapai optimum dan ini dicirikan oleh nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) > 0,5. Pada penelitian ini nilai NSE-nya sekitar 0,57, artinya kinerja model masuk dalam kategori memuaskan dan diharapkan hasil simulasinya sesuai dengan kondisi lapangan. Selanjutnya, enam parameter yang tidak dikalibrasi pada dasarnya merupakan komponen pencairan salju sehingga ini tidak digunakan untuk kajian di daerah tropis seperti halnya DAS Bogowonto.

Gambar 5 menunjukkan debit hasil simulasi untuk periode hujan 2008-2009. Secara umum, pola debit simulasi model HBV sesuai dengan pola hujan yang menyebabkannya. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4, pada 22 November 2008 dan 31 Januari 2009 terjadi debit puncak secara berturut-turut,

yaitu 21,8 dan 23,9 mm/hari; debit simulasi tersebut disebabkan oleh hujan 88 dan 93 mm. Namun, debit simulasi sekitar 4 November 2008 dan 4 April 2009 hanya tercatat 11,9 dan 10,5 mm/hari meskipun disebabkan oleh hujan yang cukup tinggi yaitu 84 dan 64 mm. Berdasarkan informasi ini, simulasi model tidak selalu dapat menggambarkan kejadian hujan tinggi. dan ini sesuai dengan hasil penelitian Bizuneh *et al.*, (2021) dan Lestari & Dasanto (2019). Namun, pada kejadian hujan rendah – pola debit hasil simulasi model HBV telah mengikuti pola hujan penyebabnya.

Model Tangki. Hasil optimasi nilai parameter Model Tangki dapat dilihat pada Tabel 3. Dalam kasus ini, parameter yang dikalibrasi berjumlah 12 buah dan nilai optimum tiap parameter tersebut telah meningkatkan kinerja model dan ini ditunjukkan dengan nilai NSE sekitar 0,57. Berdasarkan parameter yang telah dioptimasi tersebut, debit hasil simulasi dengan menggunakan Model Tangki dapat dilihat pada Gambar 6.

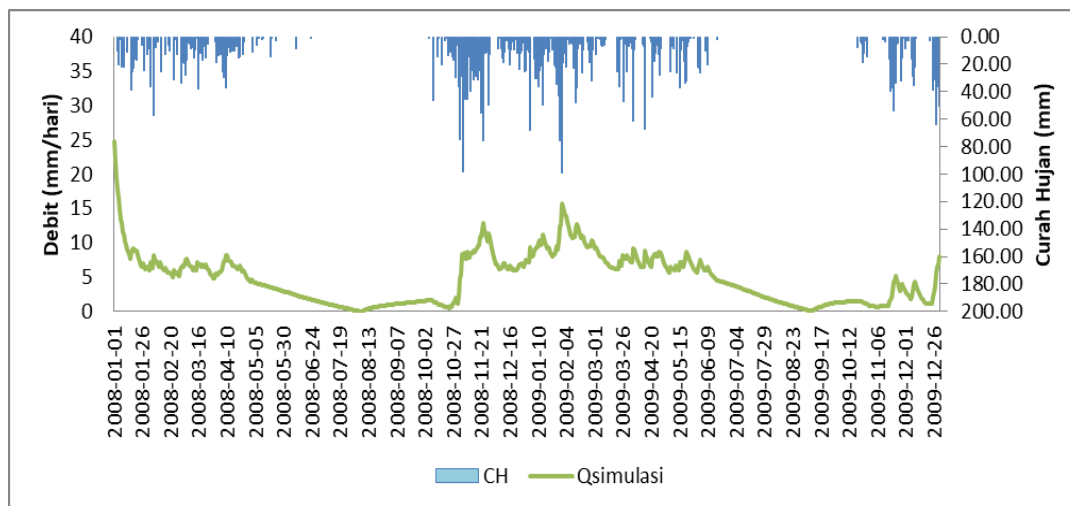
Secara umum, pola debit simulasi dari Model Tangki mengikuti pola hujan penyebabnya (lihat Gambar 6). Pada waktu awal simulasi (1 Januari 2008), Model Tangki memberikan respon debit tinggi sekitar 33 mm/hari meskipun disebabkan oleh hujan rendah. Dalam Model Tangki, debit tinggi pada awal simulasi lebih terkait dengan nilai inisiasi awal kondisi ketersediaan air tanah pada tangki-1 dan bukan hanya karena pengaruh curah hujan saja. Selanjutnya, pada 22 November 2008 dan 31 Januari 2009, wilayah studi mengalami hujan tinggi sekitar 88 dan 93 mm. Berdasarkan model tangki, hujan tersebut telah menghasilkan debit secara berturut-turut sebesar 15,4 dan 17,7 mm/hari; dan debit simulasi ini lebih rendah daripada debit simulasi hasil model HBV.



Gambar 5 Hubungan antara hujan dan debit simulasi (hasil Model HBV)

Tabel 3 Nilai Optimum Parameter Model Tangki

Parameter	Simbol	Koefisien Optimum
Tangki 1		
Lubang bawah	A ₀	0,072
Lubang samping	A ₁	0,038
	A ₂	0,0001
Tinggi tampungan	Ha ₁	0,05
	Ha ₂	25
Tangki 2		
Lubang bawah	B ₀	0,98
Lubang samping	B ₁	0,0001
Tinggi tampungan	Hb ₁	15
Tangki 3		
Lubang bawah	C ₀	0,0112
Lubang samping	C ₁	0,04
Tinggi tampungan	Hc ₁	20
Tangki 4		
Lubang samping	D ₁	0,143
NSE		0,57

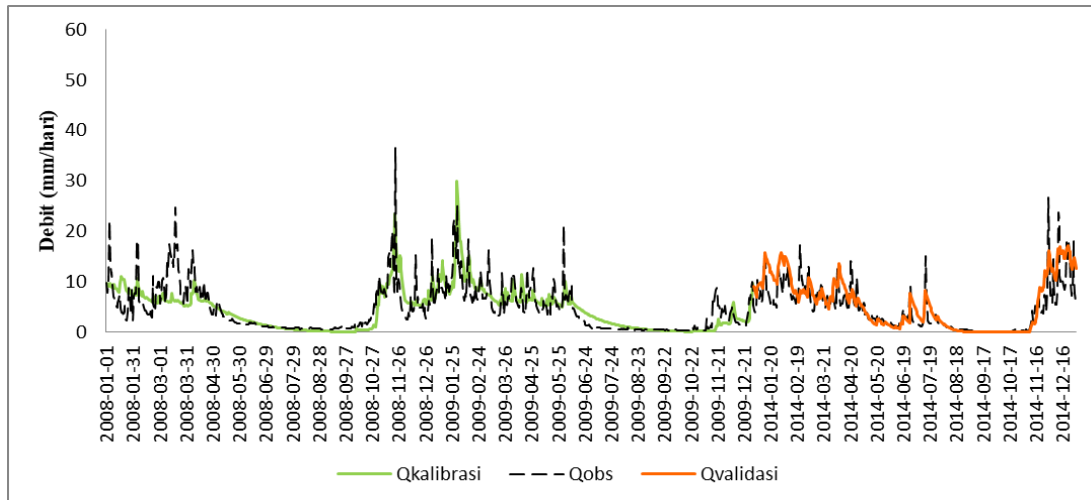


Gambar 6 Hubungan antara hujan dan debit simulasi (hasil Model Tangki)

Debit Simulasi Harian

Gambar 7 menunjukkan perbandingan antara debit observasi dan debit simulasi harian model HBV. Pada periode kalibrasi (Januari 2008 - Desember 2009), pola debit hasil kalibrasi (garis warna hijau) telah mengikuti pola debit observasi (garis putus-putus warna hitam) terutama untuk aliran rendah (*low flow*) tetapi ini terjadi hal sebaliknya untuk aliran tinggi (debit tinggi). Pada waktu awal simulasi, tinggi debit hasil kalibrasi

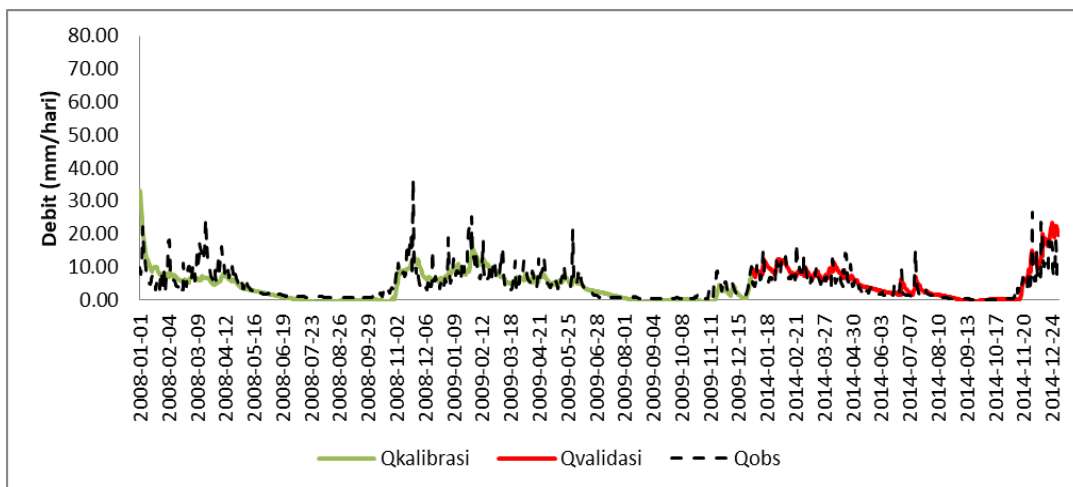
selalu lebih rendah (*under estimate*) daripada tinggi debit observasi. Ketidakakuratan tinggi debit hasil simulasi ini disebabkan oleh faktor teknis model HBV. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Ilhamsyah *et al.*, (2012) menyatakan bahwa model HBV perlu melakukan penyesuaian kestabilan model terutama pada tahun pertama simulasi. Ini terbukti pada tahun kedua simulasi, model telah stabil sehingga pola debit simulasi telah mengikuti pola debit observasi terutama untuk aliran rendah.



Gambar 7 Perbandingan debit harian antara debit observasi dan debit simulasi untuk periode kalibrasi dan validasi berdasarkan Model HB

Pada periode validasi (Januari 2014 – Desember 2014), pola debit hasil model HBV juga telah mengikuti debit observasi kecuali untuk debit tinggi (*over estimate*). Namun demikian, secara umum debit hasil validasi model masih dapat dikatakan baik berdasarkan kriteria Moriasi *et al.*, (2007) karena memiliki nilai NSE sebesar 0,71 dan ini menunjukkan bahwa kinerja model Hidrologi HBV adalah baik (lihat Tabel 1 pada sub bab Evaluasi Model). Kondisi ini sesuai dengan koefisien determinasinya yang bernilai sekitar 0,73; artinya, keragaman (varian) kesalahan dari data hasil simulasi adalah sedikit atau hasil simulasinya dapat diterima (*acceptable*).

Selanjutnya, Gambar 8 adalah hasil Model Tangki yang menunjukkan hasil perbandingan antara debit observasi dan debit simulasi untuk periode kalibrasi maupun validasi. Merujuk pada Gambar 8, debit awal simulasi untuk periode kalibrasi (Januari 2008 – Desember 2009) adalah lebih tinggi daripada debit observasi dan ini berkebalikan dengan hasil Model HBV. Sementara itu, debit tinggi hasil simulasi baik dari Model Tangki maupun HBV adalah mirip yaitu lebih rendah daripada tinggi debit observasi. Namun, pada debit rendah – kedua model telah menunjukkan kinerja yang baik yaitu pola debit simulasi telah sesuai dengan pola debit observasi.



Gambar 8 Perbandingan debit harian antara debit observasi dan debit simulasi untuk periode kalibrasi dan validasi berdasarkan Model Tangki

Pada periode validasi (Januari-Desember 2014), secara umum debit hasil Model Tangki telah mengikuti debit observasi. Akurasi hasil Model Tangki pada periode validasi menunjukkan nilai NSE sekitar 0,75 yang berarti Model Tangki memiliki kinerja yang baik meskipun nilai NSE-nya lebih rendah daripada nilai NSE hasil Model HBV. Koefisien determinasinya sekitar 0,65 yang berarti keragaman kesalahan hasil simulasi adalah rendah dan hasilnya dapat diterima. Selanjutnya, selain simulasi harian maka penelitian ini telah melakukan simulasi bulanan untuk kedua model dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 9.

Debit Simulasi Bulanan

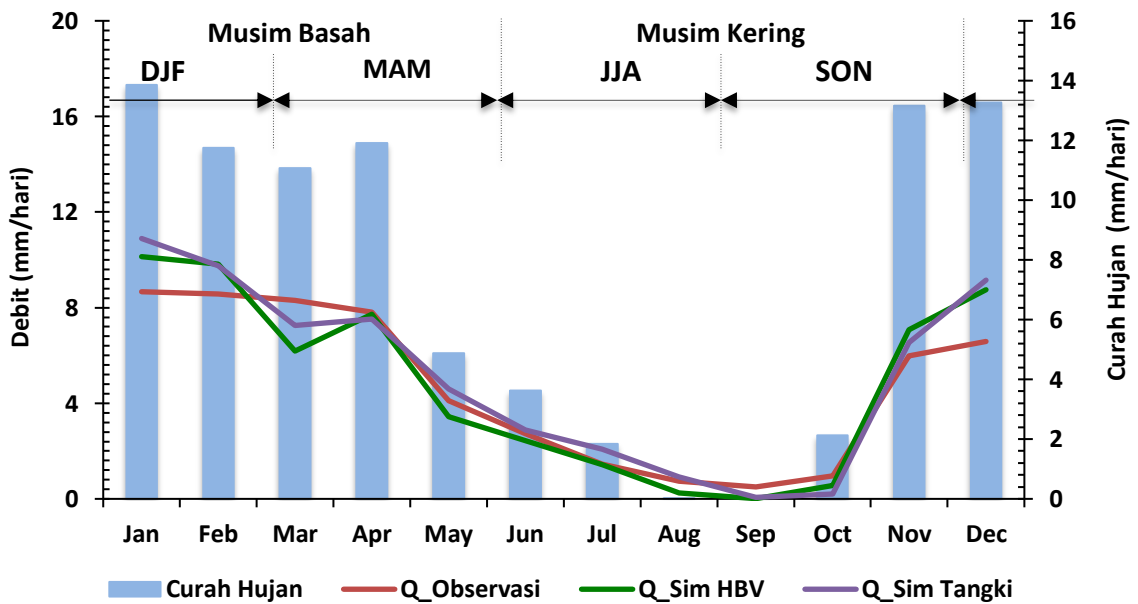
Berdasarkan Gambar 7 dan 8 yang telah diungkap pada paragraf di atas, pola debit hasil simulasi dengan menggunakan model HBV maupun Tangki, pada dasarnya hampir sama yaitu telah mengikuti pola debit observasi. Namun, dalam skala yang lebih detail, kedua model masih belum mampu menangkap kejadian debit tinggi; maksudnya, debit tinggi hasil simulasi selalu lebih rendah daripada debit tinggi observasi. Terkait hal ini, analisis dilanjutkan untuk debit simulasi bulanan dengan tujuan melihat pengaruh musim basah atau kering terhadap debit di kedua musim tersebut

Secara umum DAS Bogowonto dipengaruhi oleh dua musim yaitu musim basah dan musim

kering. Musim basah terjadi pada periode DJF (Desember, Januari, Februari) dan MAM (Maret, April, Mei) sedangkan musim kering terjadi pada periode JJA (Juni, Juli, Agustus) dan SON (September, Oktober, November). Selanjutnya, detail terkait pembagian musim ini dapat dilihat pada Hendon (2003). Berdasarkan hal ini, Gambar 9 telah menunjukkan adanya hubungan antara hujan dengan debit observasi maupun debit simulasi untuk periode bulanan.

Pada akhir musim basah hingga akhir musim kering, yaitu sekitar bulan Mei hingga Oktober; pola debit hasil simulasi dengan menggunakan model HBV dan Tangki telah sesuai atau *fit* dengan pola debit observasi. Artinya, kedua model telah mampu menangkap pola debit rendah yang berasal dari sub aliran dasar (*sub-base flow*) dan aliran dasar (*base flow*).

Namun, pada awal hingga akhir musim basah (Desember hingga April), tinggi debit simulasi dari kedua model selalu lebih tinggi daripada tinggi debit observasi walaupun polanya telah beresesuaian. Ini berarti kedua model (hasil dari penelitian ini) belum mampu menangkap besar (*magnitude*) debit tinggi yang bersumber dari aliran permukaan (*surface flow*) dan aliran bawah permukaan (*sub-surface flow*).



Gambar 9 Hubungan antara curah hujan dengan debit observasi dan debit hasil simulasi

KESIMPULAN

Kedua model transformasi hujan-limpasan telah menunjukkan kinerja yang baik dan ini ditandai dengan pola pergerakan debit simulasi yang sesuai dengan pola pergerakan hujan penyebabnya. Dalam simulasi harian, khususnya pada waktu awal simulasi, kinerja kedua model masih belum baik. Pada periode ini, debit simulasi hasil model HBV cenderung lebih rendah daripada debit observasi dan hasil ini berkebalikan dengan debit simulasi hasil model Tangki. Ketidakakuratan debit hasil simulasi tersebut disebabkan oleh kinerja model yang masih belum stabil. Pada periode waktu simulasi selanjutnya, pola debit simulasi kedua model telah mengikuti pola debit observasi; artinya, kinerja kedua model telah stabil. Namun, dalam analisis lebih detail kedua model masih belum mampu merespon hujan tinggi yang menyebabkan debit tinggi. Ini dibuktikan dengan tinggi dari debit simulasi yang selalu lebih rendah daripada tinggi dari debit observasi. Dalam simulasi bulanan, saat hujan rendah atau musim kering, kinerja kedua model telah baik, ini ditunjukkan dengan kesesuaian pola debit antara debit simulasi dan debit observasi. Namun, saat hujan tinggi atau musim basah, kinerja kedua model masih belum baik. Pada periode rata-rata bulanan, khususnya pada musim basah, tinggi dari debit simulasi selalu lebih besar (*over estimate*) daripada tinggi debit observasi.

Model HBV dan model Tangki merupakan model konseptual, yang menggunakan proses *trial and error* untuk kalibrasi, sehingga optimasi parameter yang digunakan sangat memengaruhi kinerja model. Kedua model ini dapat menggambarkan debit simulasi cukup baik namun belum mampu menggambarkan kejadian debit puncak yang terjadi pada DAS sehingga diperlukan uji ulang terhadap model dan menerapkannya pada kondisi DAS dan pola hujan yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningrum, C. (2016). Analisis Perhitungan Evapotranspirasi Aktual Terhadap Perkiraan Debit Kontinyu dengan Metode Mock. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(2). <https://doi.org/10.24002/jts.v13i2.649>
- Aghakouchak, A., & Habib, E. (2010). Application of a conceptual hydrologic model in teaching hydrologic processes. *International Journal of Engineering Education*, 26(4).
- Basri, H. (2013). Development of Rainfall-runoff Model Using Tank Model: Problems and Challenges in Province of Aceh, Indonesia. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 2(1): 26–36.
- Bizuneh, B. B., Moges, M. A., Sinshaw, B. G., & Kerebih, M. S. (2021). SWAT and HBV models' response to streamflow estimation in the upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Water-Energy Nexus*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2021.03.001>
- Cai, J., Liu, Y., Lei, T., & Pereira, L. S. (2007). Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages. *Agricultural and Forest Meteorology*, 145(1–2): 22–35. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.04.012>
- Dasanto, B. D., Boer, R., Pramudya, B., & Suharnoto, Y. (2014). Simple method for assessing spread of flood prone areas under historical and future rainfall in the upper citarum watershed. *EnvironmentAsia*, 7(2): 79–86. <https://doi.org/10.14456/ea.2014.27>
- Hendon, H. H. (2003). Indonesian rainfall variability: Impacts of ENSO and local air-sea interaction. *Journal of Climate*, 16(11): 1775–1790. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<1775:IRVIOE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<1775:IRVIOE>2.0.CO;2)
- Huang, S., Eisner, S., Magnusson, J. O., Lussana, C., Yang, X., & Beldring, S. (2019). Improvements of the spatially distributed hydrological modelling using the HBV model at 1 km resolution for Norway. *Journal of Hydrology*, 577. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.051>
- Ilhamsyah, Y., Koem, S., Muttaqin, A. S., Kelautan, I., Kelautan, K., Syiah, U., & Aceh, B. (2012). Aplikasi model hidrologi HBV di DAS Peusangan Aceh sebagai studi pengantar pengembangan konsep ekohidrologi berkelanjutan. *Fakultas MIPA Institut Pertanian Bogor*, 1(2), 86–92.
- Penetapan Daerah Aliran Sungai (Das) Prioritas Dalam Rangka Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) Tahun 2010-2014, (2009).
- Kesuma, R. P., Wahyudi, A. H., & Suyanto. (2013). Aplikasi Metode Mock, NRECA, Tank Model dan Rainrun di Bendung Trani, Wonotoro, Sudangan dan Walikan. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 1(4): 472–479.
- Lestari, I., & Dasanto, B. D. (2019). Determination of Extreme Hydrological Index using HBV Model Simulation Results (Case Study : Upper Ciliwung Watershed). *Agromet*, 33(1): 20–29. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.33.1.20-29>
- Masitoh, S., & Dasanto, B. D. (2018). Analisis Sensitivitas Parameter Model HBV : Studi Kasus SubDAS Citarum Hulu. *LIMNOTEK Perairan Darat Tropis Di Indonesia*, 25(2): 78–87. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14203/limnotek.v25i2.190>

- 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.
- Nonki, R. M., Lenouo, A., Tshimanga, R. M., Donfack, F. C., & Tchawoua, C. (2021). Performance assessment and uncertainty prediction of a daily time-step HBV-Light rainfall-runoff model for the Upper Benue River Basin, Northern Cameroon. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *36*, 100849. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100849>
- Nurdhawata, S., & Dasanto, B. D. (2011). Analisa Potensi Waduk Rukoh dalam Memenuhi Kebutuhan Air di Kabupaten Pidie, Indonesiaanalysis Of Rukoh Reservoir Potency For Determining Water Requirement In Pidie District, Indonesia. *Agromet*, *25*(1).
- Pratiwi, D. W., Hadiani, R., & Suyanto, S. (2016). Transformasi Hujan-Debit Berdasarkan Analisis Tank Model Dan GR2M Di DAS DENGKENG. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2016*, November, 1–8. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/706>
- Rahman, R. (2011). Penerapan Model Tangki Dengan Tiga Tangki Susunan Paralel Untuk Transformasi Data Hujan Menjadi Data Debit (Studi Kasus Pada Inflow Waduk Selorejo Dan Waduk Lahor). *Media Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Malang*, *9*(2). <https://doi.org/10.22219/jmts.v9i2.1203>
- Seibert, J., & Vis, M. (2012). Teaching hydrological modeling with a user-friendly catchment-runoff-model software package. *Hydrology and Earth System Sciences*, *16*: 3315–3325. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3315-2012>
- Sheikh Goodarzi, M., Jabbarian Amiri, B., Azarnivand, H., & Waltner, I. (2021). Watershed hydrological modelling in data scarce regions; integrating ecohydrology and regionalization for the southern Caspian Sea basin, Iran. *Heliyon*, *7*(4), e06833. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06833>
- Tanika, L., Pawitan, H., Noordwijk, M. Van, Thoha, M., & Zulkarnain. (2013). Dampak perubahan tutupan lahan dan iklim terhadap fungsi hidrologi Daerah Aliran Sungai Konawehea Hulu. *Jurnal Sumber Daya Air*, *9*(2): 155–168.
- Tibangayuka, N., Mulungu, D. M. M., & Izdori, F. (2022). Performance evaluation, sensitivity, and uncertainty analysis of HBV model in Wami Ruvu basin, Tanzania. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *44*, 101266. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101266>
- Wahyu, A., Kuntoro, A., & Yamashita, T. (2010). Annual and Seasonal Discharge Responses to Forest/Land Cover Changes and Climate Variations in Kapuas River Basin, Indonesia. *Journal of International Development and Cooperation*, *16*(2): 81–100.
- Zhou, L., Koike, T., Takeuchi, K., Rasmy, M., Onuma, K., Ito, H., Selvarajah, H., Liu, L., Li, X., & Ao, T. (2022). A study on availability of ground observations and its impacts on bias correction of satellite precipitation products and hydrologic simulation efficiency. *Journal of Hydrology*, *610*, 127595. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydro.2022.127595>