



SDA-5

PEMODELAN DEBIT *INFLOW* WADUK BAJULMATI SITUBONDO JAWA TIMUR DENGAN MODEL DETERMINISTIK MOCK

Gusfan Halik^{1*}, Taufikurrahman¹, Entin Hidayah¹ dan Wiwik Yunarni¹

^{1*}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember

e-mail : gusfan.teknik@unej.ac.id

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember

e-mail: byetaufik@gmail.com

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember

e-mail: entin.teknik@unej.ac.id

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember

e-mail: wiwik.teknik@unej.ac.id

ABSTRAK

Bendungan Bajulmati yang terletak diantara Kabupaten Situbondo dan Banyuwangi merupakan bendungan yang beroperasi sejak tahun 2018 Keberhasilan operasional Waduk Bajulmati ditentukan dari keberhasilan memprediksi debit aliran yang masuk ke waduk atau debit *inflow*. Oleh karena itu, diperlukan model prediksi *inflow* waduk yang parsimoni dan akurat sehingga dapat dijadikan acuan dalam merancang pola operasi dan alokasi air waduk secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan prediksi *inflow* waduk. Model yang digunakan adalah model deterministik (model Mock). Keandalan model tahap kalibrasi dan validasi diuji menggunakan kriteria : *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE). Hasil pemodelan menunjukkan bahwa prediksi debit *inflow* waduk model Mock memberikan akurasi yang baik dan mendekati kondisi debit aliran observasi. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa model Mock dapat digunakan sebagai alternatif dalam memprediksi debit *inflow* di waduk Bajulmati.

Kata kunci: *inflow* waduk, model mock, waduk Bajulmati

PENDAHULUAN

Pemodelan hujan aliran merupakan suatu proses pendekatan hidrologi yang mengalihragamkan dari data hujan menjadi debit (Hadiani dkk., 2016). Prediksi debit ini merupakan pendekatan model untuk mempelajari karakteristik respons dari suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) akibat curah hujan yang terjadi pada suatu DAS. Pemodelan hujan aliran banyak sekali konsep dan ragamnya, dari yang sederhana sampai yang sangat kompleks. Semakin kompleks parameter model hujan aliran, maka akan semakin mahal pemodelan dan data pengukurannya. Konsep model persimoni merupakan konsep model hujan aliran dengan parameter dan *input* model sedikit dengan tingkat akurasi yang sangat memadai. Salah satu model yang sering dipakai dalam pemodelan hidrologi operasional adalah model Mock. Kelebihan model Mock, hasil analisis lebih akurat karena lebih banyak mempertimbangkan kondisi alam yang mempengaruhi kondisi ketersediaan air (Widyaningsih dkk., 2021). Terdapat 3 komponen dalam proses pemodelan ini dipertimbangkan yaitu hujan dan evapotranspirasi, keseimbangan air di permukaan tanah, dan tampungan air tanah (Adiningrum, 2015). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter Mock yang optimal dalam memodelkan debit pada suatu kawasan DAS yang semi kering.

Pada penelitian sebelumnya, implementasi pemodelan hujan aliran menggunakan model Mock di DAS Cisadane menghasilkan nilai keandalan yang cukup baik (Sudinda, 2021). Namun demikian, dengan karakteristik DAS yang sangat dinamis, maka perlu kajian lebih lanjut terkait penerapan model Mock di DAS yang lain dengan kondisi iklim semi kering seperti di DAS Bajulmati Kabupaten Situbondo - Banyuwangi.

Tujuan penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter model Mock dan mengevaluasi keandalan luaran debit aliran model Mock dalam memprediksi debit inflow di DAS Bajulmati. Hasil pemodelan ini dapat dimanfaatkan oleh pengelola waduk Bajulmati dalam merancang pola operasi waduk dan alokasi air, sehingga operasi waduk dapat dilakukan secara optimal.

METODOLOGI STUDI

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian di DAS Bajulmati yang merupakan perbatasan antara Kabupaten Banyuwangi dan Situbondo, Jawa Timur. Secara geografis, DAS Bajulmati berada pada koordinat $7^{\circ}54'45''\text{S}$ - $114^{\circ}21'23''\text{E}$ dengan luas $194,3 \text{ Km}^2$. Lokasi penelitian selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Metode Penelitian

Pemodelan hujan aliran dengan model Mock memerlukan data input, seperti : data curah hujan, data klimatologi, dan data debit. Data curah hujan menggunakan data curah hujan 10 harian dengan pertimbangan operasional Waduk Bajulmati menggunakan periode 10 harian. Model Mock merupakan model lumped, sehingga data curah hujan yang dipakai menggunakan curah hujan rerata wilayah metode Thiessen.

Data Klimatologi

Data klimatologi terdiri dari beberapa unsur iklim yang dipakai dalam menghitung besarnya evapotranspirasi potensial (ET_o). Besarnya ET_o dihitung menggunakan metode Penman modifikasi. Beberapa data unsur iklim yang digunakan adalah : suhu, kelembapan, penyinaran matahari, dan kecepatan angin. Persamaan metode penman modifikasi sebagai berikut (KP-1, 2013) :

$$E_{to} = C \{W \cdot R_n + (1-W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)\} \quad (1)$$

dengan : E_{to} = evapotranspirasi potensial (mm/hari), C= faktor koreksi, W= faktor yang hubungan temperatur dan suhu, R_n = radiasi gelombang netto (mm/hari), F(u) = Faktor kecepatan angin (km/hari), E_a = Tekan uap jenuh (mbar), E_d = Tekan uap air nyata (mbar).

Data Debit

Pemodelan debit inflow waduk dengan model mock didasarkan pada kesetimbangan air (*water balance*). Pemodelan hujan aliran model Mock ini mempertimbangkan volume aliran yang masuk, aliran keluar dan perubahan aliran air tanah . Secara umum, *input* model mock memerlukan data berikut :



- Curah hujan wilayah
- Peta DEM
- Peta jenis tanah
- Peta tata guna lahan
- Data klimatologi

Konsep kesetimbangan air dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\Delta s = P - Et \quad (2)$$

dengan : Δs = kesetimbangan air (mm/hari), P = curah hujan (mm), Et = evapotranspirasi terbatas (mm/hari).

Water Surplus (WS) :

$$WS = (P - Et) + \text{soil storage} \quad (3)$$

dengan : WS = Kelebihan air (mm/hari), P = Curah hujan (mm), Et = Evapotranspirasi terbatas (mm/hari).

Limpasan Total

Besarnya limpasan total ada 2 komponen yang berpengaruh yaitu aliran dasar (*base flow*), dan limpasan langsung (*direct run off*). Nilai koefisien infiltrasi mempengaruhi besarnya debit aliran dasar yang terjadi. Untuk menentukan besarnya aliran dasar digunakan persamaan berikut (KP-1, 2013) :

$$BF = i - \Delta Vn \quad (4)$$

dengan : BF = aliran dasar (mm/hari), I = infiltrasi (mm/hari), ΔVn = perubahan simpanan air tanah (mm/hari).

Berdasarkan rumus Mock besarnya nilai infiltrasi dapat dicari dengan persamaan berikut ini (KP-1, 2013) :

$$i = WS \times if \quad (5)$$

dengan : i = infiltrasi (mm/hari), WS = kelebihan air (mm/hari), if = koefisien infiltrasi.

Koefisien infiltrasi dapat ditentukan berdasarkan keadaan porositas dan kemiringan lahan. Semakin poros lahannya maka koefisien infiltrasi semakin besar, begitu juga dengan kemiringan lahan. Semakin terjal kemiringan lahan maka tanah tidak infiltrasi dan perkolasi ke dalam tanah yang mengakibatkan nilai koefisien infiltrasi kecil. Sedangkan untuk perhitungan volume air tanah, diperoleh dari rumus berikut (KP-1, 2013) :

$$Vn = \{0,5x(1 + K) \times i\} + \{K \times V(n - 1)\} \quad (6)$$

dengan : Vn = volume air tanah periode bulan ke-n (mm/hari), K = faktor resesi air bulanan, i = infiltrasi (mm/hari), $V(n-1)$ = volume air tanah periode bulan ke n-1 (mm/hari).

Nilai faktor resesi air bulanan yaitu volume air tanah di bulan lalu dan pada bulan ini masih tersimpan. Nilai dari faktor resesi aliran air bulanan (k) cenderung lebih besar pada bulan basah. Besarnya limpasan langsung diperoleh dari kelebihan air yang terinfiltrasi dengan persamaan berikut (KP-1, 2013) :

$$DR = WS - i \quad (7)$$

dengan : DR = aliran langsung (mm/hari), WS = kelebihan air (mm/hari), i = Infiltrasi (mm/hari).

Besarnya debit aliran total (R) dinyatakan dengan persamaan berikut (KP-1, 2013) :

$$R = BF + DR \quad (8)$$

dengan : R = aliran total (mm/hari), BF = aliran dasar (mm/hari), DR = aliran langsung (mm/ hari).

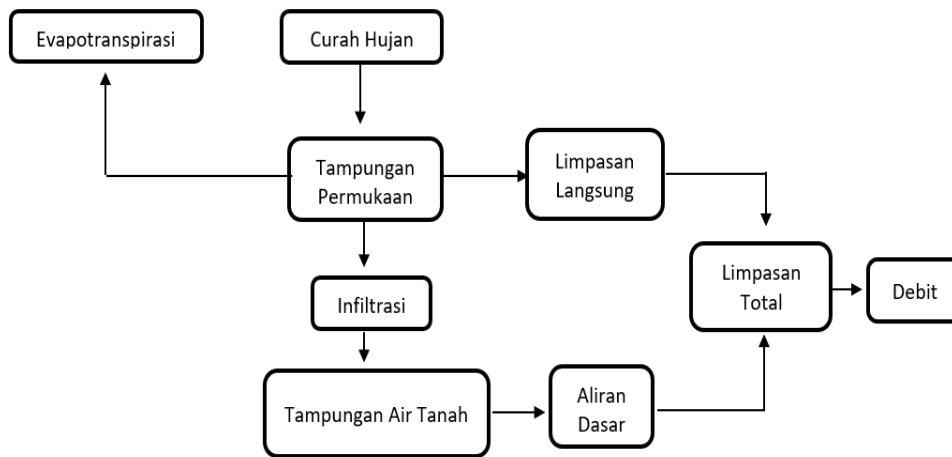
Jika nilai R dikalikan dengan luas DAS dalam satuan km^2 dengan angka konversi tertentu maka akan didapatkan besaran debit (Q) dalam $m^3/detik$, seperti pada persamaan berikut :

$$Q = \text{Luas DAS} \times R \quad (9)$$

dengan : Q = debit di titik outlet DAS (mm/hari), R = aliran total (mm/hari), luas DAS (km^2).

Pemodelan dengan model Mock ini diperlukan kalibrasi parameter model, yaitu : koefisien infiltrasi (musim basah dan kering), koefisien resesi air tanah, kelembaban tanah awal (*initial*), kapasitas kelembaban tanah dan tampungan awal air tanah. Penentuan parameter optimal dilakukan dengan metode coba-banding agar diperoleh debit luaran model yang sesuai dengan kondisi lapangan.

Skema alur pemodelan pemodelan hujan – aliran dengan Mock dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Skema Model Mock

Kalibrasi dan Validasi

Kalibrasi merupakan proses pemilihan kombinasi parameter yang optimal pada suatu model. Proses optimalisasi parameter ini bertujuan untuk meningkatkan koherensi antara respons hidrologi DAS yang diamati dan yang dimodelkan. Koherensi dapat diamati dengan 2 cara yaitu secara kualitatif dan kuantitatif. Sedangkan validasi merupakan proses evaluasi terhadap suatu model dengan tujuan untuk memperoleh gambaran mengenai tingkat ketidakpastian yang dimiliki oleh suatu model dalam memprediksi proses hidrologi. Proses validasi dilakukan dengan menggunakan data diluar data yang dipakai pada tahap kalibrasi (Indaro, 2010).

Luaran model pada tahap kalibrasi ini dianalisis tingkat keandalannya menggunakan uji statistik, seperti *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Error* (ME). Perhitungan RMSE dapat digunakan rumus sebagai berikut (Halik, 2018) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Q_{model} - Q_{observasi})^2} \quad (10)$$

dengan : RMSE = rata-rata akar kuadrat kesalahan, n = Banyaknya data, sedangkan perhitungan Mean Error (ME) dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$ME = \frac{1}{n} \sum (Q_{model} - Q_{observasi}) \quad (11)$$

dengan : ME = rata-rata kesalahan, n = banyaknya data.

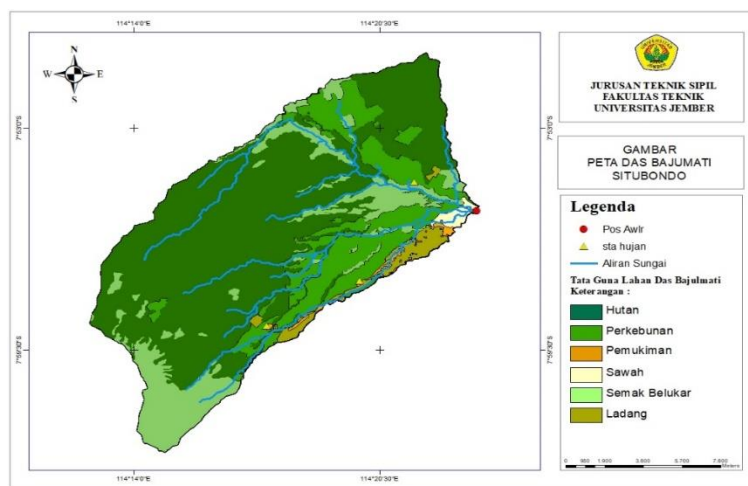
Sedangkan untuk uji kecocokan antara luaran model dengan data observasinya digunakan kriteria *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE). Hasil luaran model dikategorikan baik jika nilai NSE lebih besar dari 0,75. Perhitungan NSE dinyatakan dalam persamaan berikut (Halik, 2018) :

$$NSE = 1 - (\sum(X - Y)^2) / (\sum(X - X_{rata})^2) \quad (12)$$

dengan : NSE = koefisien keandalan, X = data observasi, Y = data luaran model

HASIL DAN PEMBAHASAN

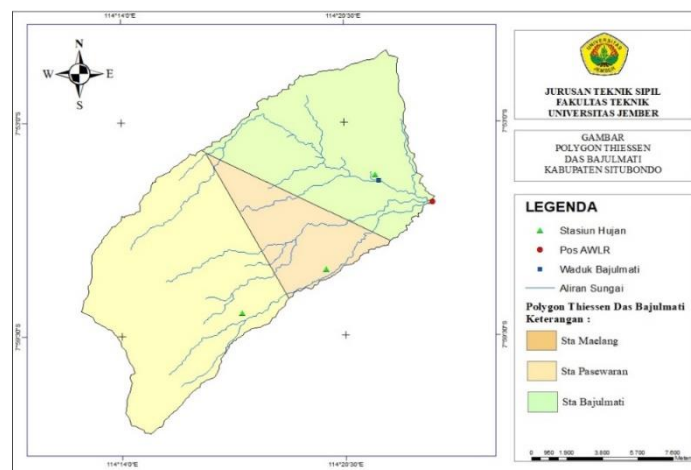
Berdasarkan hasil pengolahan data DEM (*Digital Elevation Model*) dengan ArcGis diperoleh deliniasi batas DAS Bajulmati sebesar 194,3 km². Sebaran peta tata guna lahan di lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Tata Guna Lahan DAS Bajulmati

Analisa Curah Hujan

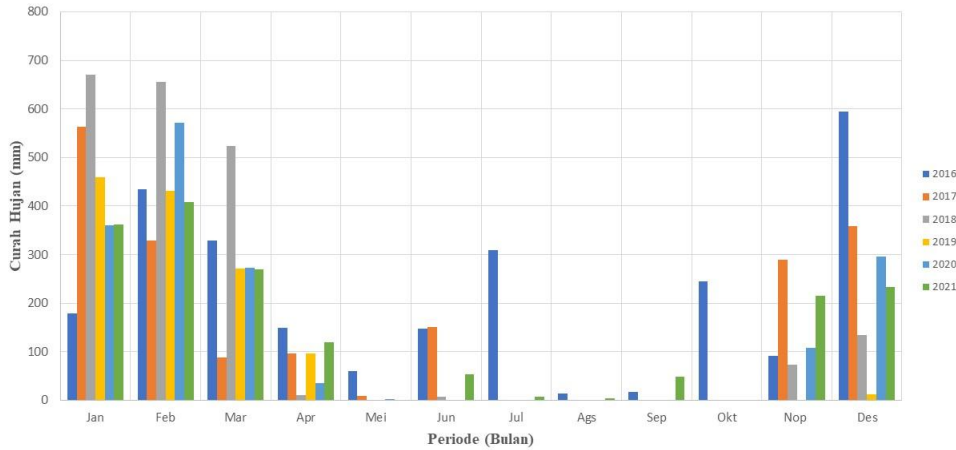
Analisis curah hujan wilayah di DAS Bajulmati menggunakan *Polygon Thiessen*. Ada 3 stasiun penakar hujan. Pemetaan daerah pengaruh masing-masing stasiun hujan ditunjukkan pada Gambar 4..



Gambar 4 . Peta Poligon Thiessen DAS Bajulmati

Berdasarkan Gambar 4 diperoleh luas daerah pengaruh stasiun hujan Pasewaran seluas 94,5 km², stasiun hujan Maelang seluas 29,7 km² dan stasiun hujan Bajulmati seluas 70,1 km². Berdasarkan

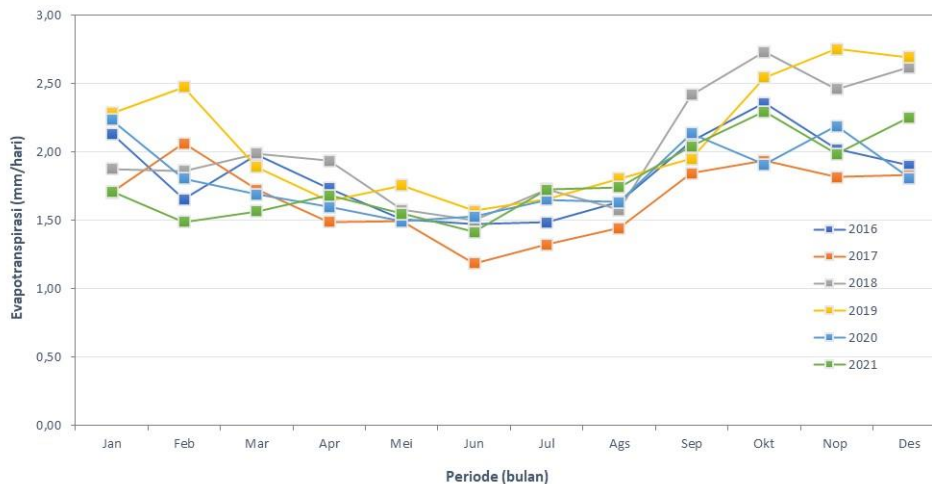
perhitungan curah hujan menggunakan polygon thiessen diperoleh curah hujan rerata wilayah. Data observasi curah hujan bulanan rata-rata selama periode 2016-2021 tahun sebesar 155,50 mm, sedangkan curah tertinggi yang terjadi pada bulan Januari tahun 2018 sebesar 670 mm. Pola curah hujan bulanan di DAS Batulmati selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Curah Hujan Bulanan

Analisis Evapotranspirasi

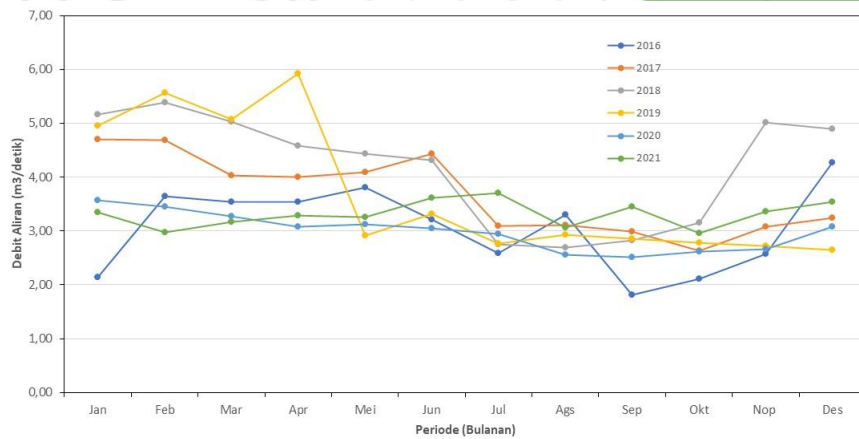
Evapotranspirasi potensial (ET_o) dianalisis dengan metode Penman modifikasi berdasarkan data klimatologi selama 6 tahun (2016-2021). Nilai ET_o maksimum sebesar 5,24 mm/hari, nilai terkecil sebesar 2,69 mm/hari dan nilai rata-rata sebesar 3,87 mm/hari. Pola evapotranspirasi bulanan DAS Bajulmati selengkapnya ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. Nilai Evapotranspirasi Bulanan

Analisis Pemodelan Aliran

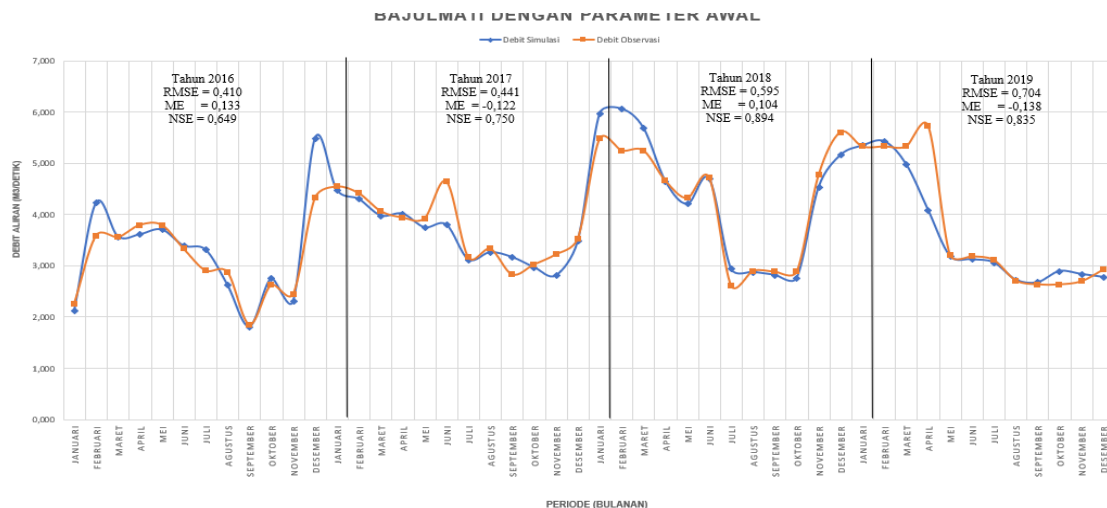
Pemodelan debit aliran dengan metode Mock dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap kalibrasi dengan periode data (2016-2019) dan tahap kalibrasi (2020-2021). Hasil luaran model akan dibandingkan dengan data debit aliran observasi. Data pengamatan debit observasi maksimum sebesar 5,927 m³/detik (April 2019), debit minimum sebesar 1,819 m³/detik (September 2016) dan debit rata-rata sebesar 3,485 m³/detik. Plot debit aliran observasi ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Debit Observasi DAS Bajulmati

Kalibrasi dan Validasi Model

Tahap kalibrasi untuk mendapatkan parameter model Mock yang optimal. Periode data untuk kalibrasi model dilakukan selama empat tahun (2016-2019). Pada tahap awal pemodelan, parameter model ditentukan atau di *setting* secara acak (*trial and error*) dengan batasan parameter yang telah ditentukan. Hasil kalibrasi model dengan parameter awal (*initial*) ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Kalibrasi Model Mock (Parameter Awal)

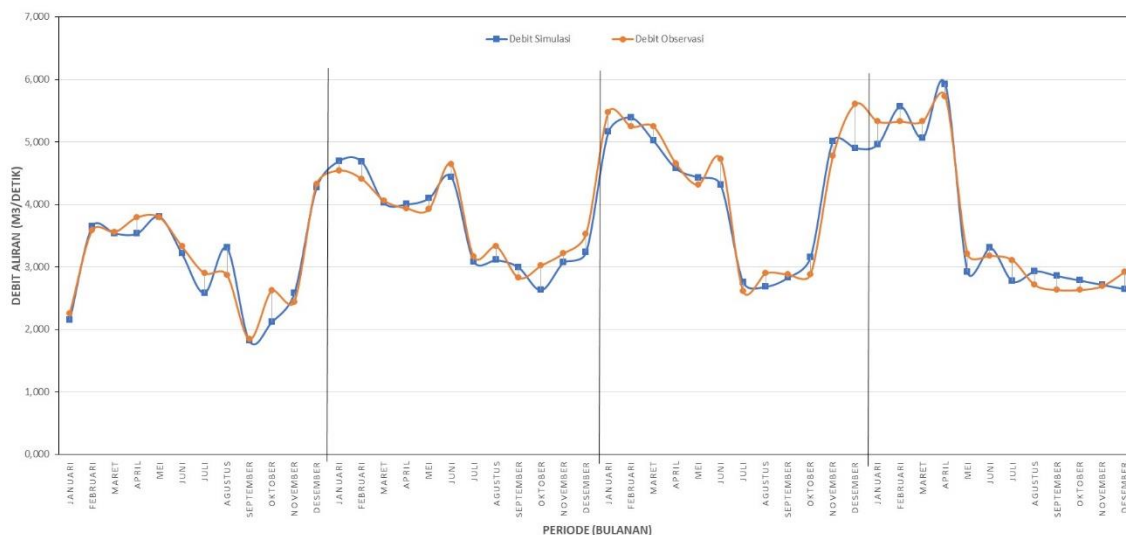
Berdasarkan parameter awal parameter model, selanjutnya model Mock dirunning. Hasil *running* berupa debit aliran luaran model dibandingkan dengan debit aliran observasi. Indikator keandalan model, dianalisis berdasarkan selisih error (RMSE dan ME) dan kecocokan model (NSE) dari masing-masing tahun atau periode pengamatan. Nilai RMSE berturut-turut diperoleh : 0,401 (2016) ; 0,441 (2017) ; 0,595 (2018) ; 0,704 (2019). Nilai ME berturut-turut diperoleh : 0,133 (2016) ; 0,122 (2017) ; 0,104 (2018) ; -0,138 (2019). Sedangkan nilai NSE berturut-turut diperoleh : 0,649 (2016) ; 0,750 (2017) ; 0,894 (2019) ; 0,835 (2019). Berdasarkan kriteria RMSE, ME dan NSE, cukup memadai, namun perlu ditingkatkan akurasi. Oleh karena itu, parameter model Mock perlu di optimasi sehingga memberikan luaran model yang mendekati kondisi lapangan.

Optimasi parameter model dilakukan dengan cara coba-banding (*trial and error*) sehingga menemukan kombinasi parameter yang sesuai dan memberikan luaran debit aliran model yang paling

mendekati dengan kondisi lapangan. Parameter model optimal selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil kalibrasi menggunakan parameter optimum diperoleh nilai kendala berikut : nilai RMSE berturut-turut adalah : 0,237 (2016) ; 0,207 (2017) ; 0,296 (2018) ; 0,242 (2019). Nilai ME berturut-turut adalah : -0,062 (2016) ; -0,023 (2017) ; -0,041 (2018) ; -0,027 (2019). Sedangkan nilai NSE berturut-turut adalah : 0,887 (2016) ; 0,878 (2018) ; 0,927 (2018) ; 0,960 (2019). Berdasarkan hasil optimasi ini menunjukkan bahwa pemodelan debit metode Mock memiliki tingkat akurasi yang lebih baik jika dibandingkan menggunakan parameter inisial. Luaran model dengan parameter optimal selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 9.

Tabel 1. Parameter Model Mock

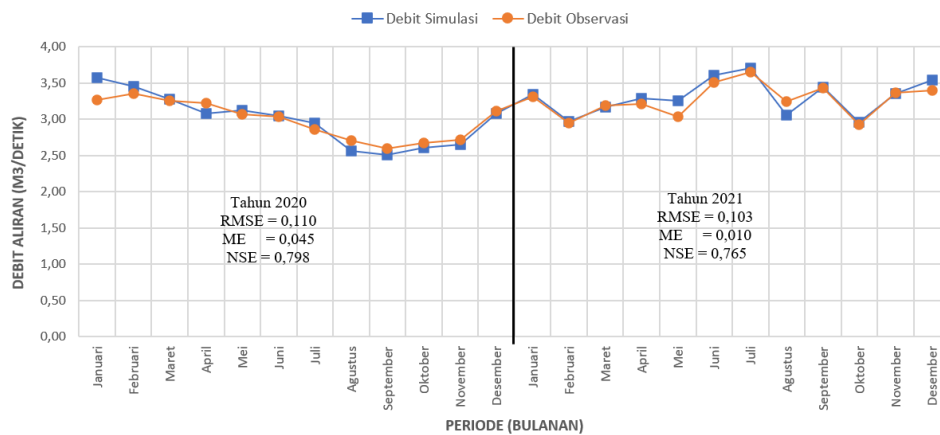
Parameter	Range	Parameter inisial	Parameter Optimal
Koef. infiltrasi musim hujan	0 - 1	0.35	0.40
Koef. infiltrasi musim kering	0 - 1	0.80	0.84
Koefisien resesi air tanah	0 - 1	0.90	0.98
Kelembaban tanah inisial	20 - 50	35	30
Kapasitas kelembaban tanah	100 - 300	150	187
Tampungan awal air tanah	50 - 2000	150	200



Gambar 9. Hasil Kalibrasi dengan Parameter Optimal

Berdasarkan parameter optimal model Mock, selanjutnya dilakukan uji validasi. Pada tahap validasi ini, digunakan data pengamatan lapangan selama 2 tahun, yaitu tahun 2020 dan 2021. Hasil validasi model menunjukkan bahwa debit luaran model (debit simulasi) mempunyai pola yang mendekati dengan debit aliran observasi. Hasil plot luaran model dan debit observasi selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 10. Nilai kendala model berdasarkan nilai RMSE adalah : 0,110 (2020) dan 0,103 (2021). Nilai ME sebesar 0,045 (2020) dan 0,010 (2021), sedangkan nilai NSE sebesar : 0,798 (2020) dan 0,765 (2021). Berdasarkan hasil pemodelan baik pada tahap kalibrasi maupun tahap validasi dapat dinyatakan bahwa model Mock dapat memodelkan hujan - debit di daerah semi kering dengan baik seperti DAS Bajulmati Kabupaten Situbondo sebagai studi kasus.

Pemodelan hujan - debit dengan model Mock memberikan hasil prediksi debit aliran yang memuaskan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar pengoperasian waduk. Dalam rencana operasi waduk dan alokasi air tahunan, keberhasilan debit lepasan (*release*) dari suatu waduk sangat ditentukan oleh keberhasilan dalam memprediksi debit inflow waduk (Halik, 2015).



Gambar 10. Plot Hasil Validasi Model

Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model Mock memberikan hasil yang baik dalam memprediksi debit aliran di DAS Bajulmati Kabupaten Situbondo yang beriklim semi kering. Di samping itu, model Mock juga memberikan hasil yang memuaskan dalam memprediksi debit aliran di DAS Ciliwung yang beriklim basah (Sudinda, 2021).

KESIMPULAN

Hasil pemodelan hujan aliran dengan model Mock di DAS Bajulmati Situbondo dengan karakteristik iklim semi kering dapat memberikan hasil prediksi debit aliran yang memuaskan. Pola luaran model Mock mempunyai kesesuaian dengan pola debit aliran observasi. Di samping itu, model Mock mempunyai nilai keandalan (NSE) diatas 0,75, yang menunjukkan bahwa model Mock dapat diaplikasikan dengan sangat baik. Namun demikian, perlu dilakukan kajian lebih mendalam tentang pengaruh fenomena iklim lokal (ENSO) terhadap aliran-aliran rendah di waduk Bajulmati.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningrum C., 2015. "Analisis Perhitungan Evapotranspirasi Aktual Terhadap Perkiraan Debit Kontinyu dengan Metode Mock," *Junal Teknik sipil*, vol. 13 (2), 158-172.
- Hadiani, R., Suyanto dan Setyoasri Y.P., 2016. "Rainfall-Discharge Simulation in Bah Bolon Catchment Area by Mock Method, Nreca Method, and Gr2m Method," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 845, 24–29.
- Halik, G., N. Anwar, B. Santosa dan Edijatno, 2015. Reservoir Inflow Prediction under GCM Scenario Downscaled by Wavelet Transform and Support Vector Machine Hybrid Models. *Journal of Advances in Civil Engineering*, Vol. 2015, 1-9.
- Halik G., 2018. *Pemodelan Hidroteknik*. Penerbit : UNEJ Press.
- Indarto, 2010. *Hidrologi Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- KP-01, 2012. "Standar perencanaan jaringan irigasi : Kriteria Perencanaan 01" Penerbit DPU-SDA Jakarta.
- Sudinda T.W., 2021. "Penentuan Debit Andalan Dengan Metoda F J Mock Di Daerah Aliran Sungai Ciliwung," *Jurnal Air Indonesia.*, vol. 12 (2), 15–24.
- Widyaningsih K.W., , D. Harisuseno, and W. Soetopo, 2021. "Perbandingan Metode FJ. Mock dan NRECA untuk Transformasi Hujan Menjadi Debit pada DAS Metro Kabupaten Malang, Jawa Timur," *J. Teknol. dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 1 (1), 52–61.