

Analisis *Inflow* Lokal Waduk Jatiluhur Menggunakan HEC-HMS

*Dedi Novrizal¹, Ferry Hermawan¹, M. Agung Wibowo¹, Ifan A. Nasution²

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

²Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara 1, Mataram

*novrizal.dedi@gmail.com

Received: 27 Juli 2022 Revised: 19 Januari 2023 Accepted: 20 Januari 2023

Abstract

Inflow in Jatiluhur Reservoir located on the Citarum River is influenced by outflow from Cirata Reservoir and Saguling Reservoir which are above it. These three reservoirs are incorporated in the Citarum Cascade System Reservoir. This inflow analysis is related to the availability of water in the Jatiluhur Reservoir, which is a multi-purpose reservoir, which then becomes the mainstay of the water supply as a hydropower operation pattern. Runoff rain modeling using HEC-HMS software using data on rainfall, temperature, land cover, soil type and topography. Parameters generated from observation and modeling are coefficient of determination (R^2), Nash-Stuclift (NSE), and Percent Bias (PBIAS). The results of the case study show that the parameters of the observed local inflow (R^2 : 0.693; NSE: 0.525; PBIAS: 9.88%) with data sources from the Jatiluhur Reservoir manager are better than the local inflow analysis results (R^2 : 0.533; NSE: -0.457; PBIAS: 48.88%) with data sources from water level (TMA). Meanwhile, the total inflow of observations (R^2 : 0.982; NSE: 0.973; PBIAS: 1.14%) with data sources from the Jatiluhur Reservoir manager is better than the total inflow analysis results (R^2 : 0.932; NSE: 0.889; PBIAS: 9.43 %) with the data source from the water level (TMA).

Keywords: *Local inflow, observation, modeling, Jatiluhur reservoir*

Abstrak

Inflow pada Waduk Jatiluhur yang berada di Sungai Citarum dipengaruhi outflow dari Waduk Cirata dan Waduk Saguling yang berada di atasnya. Ketiga Waduk ini tergabung dalam Waduk Sistem Kaskade Citarum. Analisa inflow ini berkaitan dengan ketersediaan air di Waduk Jatiluhur yang merupakan waduk serba guna, yang kemudian menjadi debit andalan sebagai pola operasi PLTA. Pemodelan hujan limpasan menggunakan software HEC-HMS dengan menggunakan data curah hujan, suhu, tutupan lahan, jenis tanah dan topografi. Parameter yang dihasilkan dari observasi dan pemodelan berupa koefisien determinasi / coefficient of determination (R^2), Nash-Stuclift (NSE), dan Percent Bias (PBIAS). Hasil studi kasus menunjukkan parameter-parameter pada inflow lokal hasil observasi (R^2 : 0,693; NSE: 0,525; PBIAS: 9,88%) dengan sumber data dari pengelola Waduk Jatiluhur lebih baik daripada inflow lokal hasil analisa (R^2 : 0,533; NSE: -0,457; PBIAS: 48,88%) dengan sumber data dari tinggi muka air (TMA). Sementara pada inflow total hasil observasi (R^2 : 0,982; NSE: 0,973; PBIAS: 1,14%) dengan sumber data dari pengelola Waduk Jatiluhur lebih baik daripada inflow total hasil analisa (R^2 : 0,932; NSE: 0,889; PBIAS: 9,43%) dengan sumber data dari tinggi muka air (TMA).

Kata kunci: *Inflow lokal, observasi, pemodelan, Waduk Jatiluhur*

Pendahuluan

Waduk Sistem Kaskade Citarum merupakan rangkaian tiga waduk yang berada dalam satu sungai yaitu Sungai Citarum Provinsi Jawa Barat. Ketiga waduk tersebut secara berurutan dari elevasi tertinggi adalah Waduk Saguling (ketinggian 645

m), Waduk Cirata (ketinggian 225 m), dan Waduk Jatiluhur (ketinggian 111 m). Waduk Saguling berfungsi sebagai pembangkit tenaga listrik air yang dikelola oleh PT Indonesia Power, Waduk Cirata berfungsi juga sebagai pembangkit tenaga listrik yang dikelola oleh PT Pembangkitan Jawa Bali (PT PJB) dan Waduk Jatiluhur berfungsi sebagai waduk

serba guna yang dikelola oleh PERUM Jasa Tirta II (PJT II). Waduk-waduk ini mulai beroperasi dalam satu sistem kaskade sejak tahun 1988.

Dalam kasus Waduk Serial Saguling-Cirata-Jatiluhur, parameter model yang paling sulit dianalisis adalah inflow, karena sangat tergantung pada kualitas data yang dicatat dan kemampuan teknisi bidang hidrologi yang ada di masing-masing operator bendungan, sehingga berdampak pada hasil prediksi inflow lokal yang tidak sesuai harapan (Petrus, 2020). *Inflow* waduk banyak dipengaruhi oleh faktor – faktor yang berkaitan dengan kondisi hidrologi DAS, karakteristik DAS dan tata guna lahan (Triatmodjo, 2008).

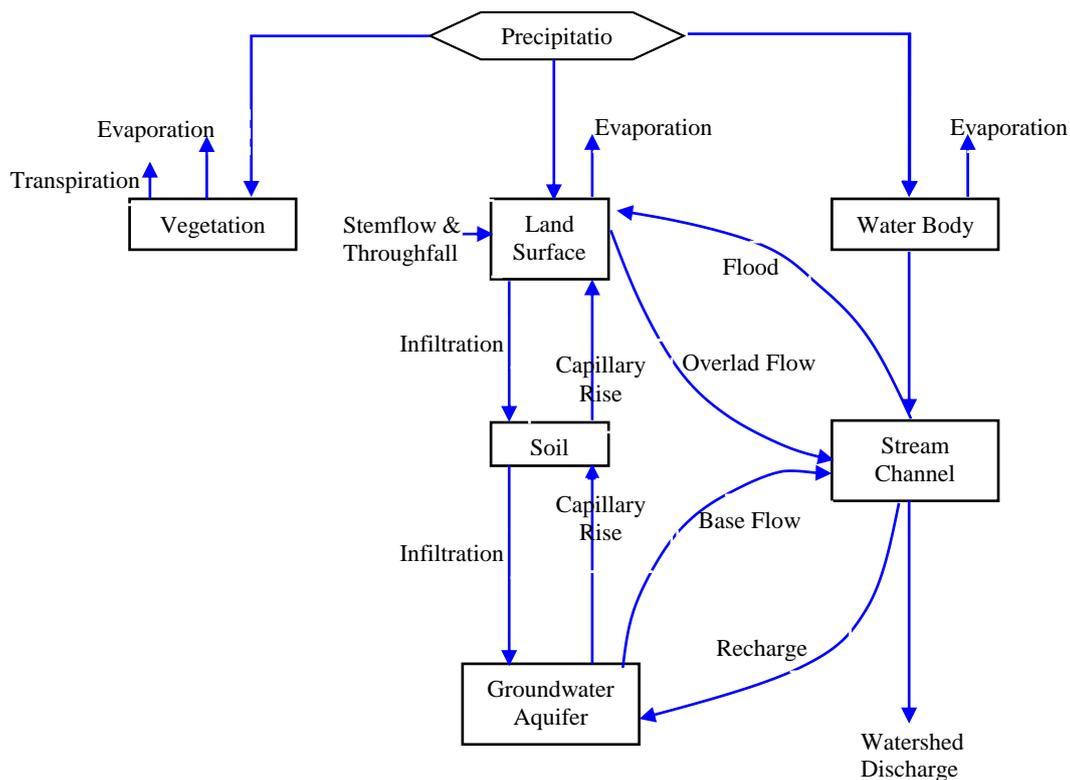
Dalam Waduk Kaskade, inflow waduk tidak hanya dipengaruhi faktor-faktor tersebut, namun juga dipengaruhi oleh outflow waduk di hulu. Maksud dari studi kasus ini adalah melakukan penelusuran inflow lokal yang mempengaruhi volume tampungan Waduk Jatiluhur dengan melakukan pemodelan HEC-HMS. Inflow lokal yang hasil penelusuran dengan pemodelan selanjutnya dibandingkan dengan inflow hasil observasi berdasarkan pencatatan pengelola waduk.

Pemodelan hujan limpasan (*runfall-runoff*)

Simulasi siklus hidrologi meliputi presipitasi, evapotranspirasi, infiltrasi, aliran permukaan dan

aliran dasar dari suatu daerah aliran sungai dapat disimulasikan dengan alat bantu *software HEC-HMS*. *Software* ini dikembangkan oleh *United States Army Corps of Engineers (USACE) Hydraulic Engineering Centre (HEC)*, dengan versi terbaru yaitu *HECHMS 4.8*. Aplikasi *HEC-HMS* ini merupakan aplikasi yang sifatnya publik (*open source*) yang dikembangkan oleh *US ARMY*. Aplikasi ini dapat *download* langsung pada alamat *website* <http://www.hec.usace.army.mil> (USACE, 2021). *Input* dari model *HEC-HMS* adalah data hujan, data tutupan lahan, jenis tanah dan topografi. Proses pemodelan dapat dilihat pada Gambar 1.

Tahapan perubahan hujan menjadi debit limpasan menggunakan *software HEC-HMS* telah dilakukan oleh Ferdiansyah *et al.* (2020). Namun penelitian tersebut hanya berfokus pada daerah tangkapan air Waduk Saguling. Penelitian tersebut mendapatkan hasil yang baik, di mana nilai R^2 didapat 0,8 dan nilai *Nash-Sutcliff Efficiency (NSE)* didapat 0,6 pada basis dalam periode bulanan. Penelitian tersebut menjadi rujukan pada studi kasus ini, khususnya dalam pemilihan parameter-parameter pada *software HEC-HMS*. Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut untuk masing-masing parameter yaitu parameter *loss metode deficit constant*, parameter *transform metode SCS Unit Hydrograph*, dan parameter *baseflow model linier reservoir*.



Gambar 1. Diagram tahapan pemodelan hujan menjadi limpasan (Feldman, 2000)

Metode hujan limpasan dengan menggunakan HEC-HMS digunakan untuk menghitung potensi debit lokal yang masuk ke Waduk Saguling. Parameter yang digunakan dalam model adalah *deficit constant (parameter loss)*, *linear reservoir (parameter baseflow)*, dan *lag time (parameter transform)* (Ferdiansyah *et al.*, 2020). Bagian utama pemodelan dalam perhitungan debit banjir dengan menggunakan pemodelan hidrologi HEC-HMS, yaitu (Feldman, 2000). Basin Model, merupakan peniruan kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS) yang terdiri dari elemen *subbasin*, *junction*, *reach*, *reservoir*, dan *sink*. Peniruan basin model digambarkan dengan elemen *subbasin* sebagai peniruan Sub DAS, *reach* sebagai peniruan aliran sungai, *reservoir* sebagai peniruan waduk/embung atau tampungan air sejenisnya, *junction* sebagai peniruan persimpangan aliran sungai, *diversion creation area* sebagai peniruan pengalihan aliran (tidak digunakan), *source creation tool* sebagai peniruan mata air (tidak digunakan), *Sink* sebagai peniruan suatu muara.

Pada elemen subbasin, reach, dan reservoir diperlukan pemilihan pengisian parameter *Canopy Method* menggunakan *Simple Canopy*. Dalam metode ini terdapat isian *parameter max storage*. Tabel 1 menunjukkan nilai parameter yang diestimasi berdasarkan jenis vegetasi dan kapasitas kanopi.

Tabel 1. Kapasitas kanopi Berdasarkan jenis vegetasi

Jenis vegetasi	Kapasitas kanopi (mm)
Tanaman umum/tidak diketahui jenisnya	1,027
Rerumputan dan pohon yang dapat gugur	2,032
Pepohonan dan pohon konifera	2,540

Sumber: Feldman, 2000

Surface methode menggunakan *simple surface*. Dalam metode ini terdapat isian parameter *max storage*. Nilai parameter ini diestimasi berdasarkan tutupan lahan. *Max Storage* dihitung rata-ratanya untuk setiap sub-basin (Tabel 2).

Tabel 2. Kapasitas tampungan permukaan

Deskripsi Slope (%)	Kapasitas Tampungan Permukaan (mm)
Curam > 30	1,0
Sedang 5 – 30	1,27 – 6,4
Datar 0 – 5	50,8

Sumber: Feldman, 2000

Loss Method menggunakan *Defisit Constant Loss*. Dalam metode ini terdapat parameter *Maximum Storage*, *Constant Rate*, dan persen *Impervious*.

Maximum storage dan *Constant Rate* diestimasi berdasarkan tekstur tanah sesuai Tabel 3 dan dikalikan kedalaman tanah serta dirata-rata hasilnya untuk setiap Sub-Basin. Parameter % *Impervious* diestimasi berdasarkan tutupan lahan sesuai Tabel 4 dan dihitung rata-ratanya untuk setiap Sub-Basin.

Tabel 3. Effective Porosity, Wilting Point, dan Saturated Hydraulic Conductivity

Tekstur tanah	Effective porosity	Wilting point	Saturated hydraulic conductivity (in/hr)
Sand	0,42	0,03	4,60
Loamy Sand	0,40	0,06	1,20
Sandy Loam	0,41	0,10	0,40
Loam	0,43	0,12	0,10
Silt Loam	0,49	0,13	0,30
Sandy Clay Loam	0,33	0,15	0,06
Clay Loam	0,31	0,20	0,04
Silty Clay Loam	0,43	0,21	0,04
Sandy Clay	0,32	0,20	0,03

Sumber: Rawls *et al.*, 1998

Tabel 4. Persentase luasan kedap berdasarkan tutupan lahan

Jenis tutupan lahan	Persentase tutupan lahan (%)
Hutan	5
Kebun Campuran	5
Perkebunan	5
Permukiman	30
Sawah	5
Semak / Belukar	5
Tanah Terbuang	0
Tegalan / Ladang	5
Tubuh Air	100
Permukiman	30
Sawah	5
Tegalan / Ladang	5

Sumber: (Tisnasuci *et al.*, 2020)

Persamaan yang digunakan dalam menghitung *max storage* dan *constant rate* berdasarkan tekstur adalah sebagai berikut.

$$Max Storage = (Effective porosity - Wilting point) \times H \quad (1)$$

dengan *Max Stotage* merupakan nilai maksimum tampungan tanah rata – rata, *Effective Porosity* sebagai jumlah air tanah tidak terpengaruh evapotranspirasi rerata, *Wilting Point* sebagai kedalaman lapisan tanah.

$$Constant Rate = saturated hydraulic conductivity \times H \quad (2)$$

dengan *Infiltration Rate* adalah laju infiltrasi tanah rata-rata, *Saturated Hydraulic Conductivity* adalah konduktivitas hidrolik jenuh rerata, dan *H* adalah

kedalaman lapisan tanah. Sedangkan *impervious area* merupakan daerah kedap air yang dipengaruhi oleh jenis tutupan lahan. Besar persentase daerah kedap air. Dalam studi kasus ini menggunakan ketentuan sebagai berikut.

Transform method menggunakan *SCS unit hydrograph*. Dalam metode ini isian parameter yang dibutuhkan adalah *lag time* yang diperoleh dari persamaan berikut ini.

$$t_{lag} = 0,6 \cdot t \quad (3)$$

dengan t_{lag} adalah *lag time* dan t_c adalah waktu konsentrasi

Lag time dipengaruhi oleh *time concentration* (t_c). Nilai t_c diperoleh berdasarkan nilai *curve number* (*NC*) dengan menggunakan persamaan *Natural Resources Conservation Services (NRCS)*. Parameter ini menghitung waktu yang dibutuhkan untuk mengubah hujan menjadi debit limpasan (t_{lag}) yang dipengaruhi panjang aliran dan kemiringan dasar DAS. Berdasarkan persamaan *NRCS*, nilai t_c dipengaruhi oleh *CN* dan karakteristik DAS yaitu panjang sungai dan kemiringan lereng (Li & Chibber, 2008). Sebagaimana persamaan berikut.

$$t_c = 0,0526 \cdot \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right] \cdot L^{0,8} \cdot S^{-0,5} \quad (4)$$

dimana *CN* adalah *Curve Number*, *L* merupakan panjang sungai (km), *S* merupakan kemiringan rata-rata DAS (%).

Baseflow menggunakan *linier reservoir*. Dalam metode ini isian parameter yang dibutuhkan adalah *GW initial*, *GW Fraction* dan *GW Coefficient*. Pada studi kasus ini, pengisian *GW coefficient* dihitung berdasarkan nilai t_c sebagaimana dalam (Moe, 2020) di mana *GW1 coefficient* sebesar $3 \times t_c$ dan *GW2 coefficient* sebesar $10 \times t_c$. Besar *initial discharge groundwater* diasumsikan 0 yang nantinya akan dikalibrasi.

Reach menggunakan *Muskingum*. Dalam metode ini isian parameter terdiri dari *K* dan x . Nilai *K* dihitung berdasarkan persamaan $K = \frac{L}{\sqrt{S}}$ parameter x merupakan konstanta tidak berdimensi dengan nilai antara 0 sampai 0,5 yang bisa didapatkan melalui proses kalibrasi. Nilai parameter *K* diestimasi berdasarkan persamaan dalam (Moe, 2020) (Persamaan 5)

$$K = \frac{L}{\sqrt{S}} \quad (5)$$

Di mana *K* adalah nilai *muskingum*, *L* adalah panjang saluran (mil), *S* adalah kemiringan saluran (kaki/mil). *Meteorologic model* merupakan model meteorologi yang berlaku pada DAS model hujan

wilayah, yang digunakan adalah *Inverse Distance* dan berlaku pada DAS model evapotranspirasi yang digunakan *monthly average* hasil analisis metode *Thornwhaite*.

Control Specification merupakan menu untuk mengatur waktu dimulai dan berakhirnya simulasi. Pada studi kasus ini, simulasi dilakukan sebanyak dua kali yaitu kalibrasi dan validasi. Simulasi dimulai pada tanggal 1 Juli di mana merupakan musim kemarau yang tidak mengalami hujan agar *initial condition* untuk parameter *canopy*, *surface*, *deficit constant* dapat diasumsikan sebesar 0.

Timeseries Data, yang merupakan menu untuk menautkan *timeline* data atau data observasi yang dibutuhkan sebagai input model seperti data curah hujan, debit sungai, *inflow* waduk dan lain-lain. *Paired Data*, dapat berupa data meteorologi dalam tabel/grafik disajikan pada komponen ini. *Terrain Data* yang merupakan data elevasi berupa *Digital Elevation Model (DEM)* dibutuhkan untuk melakukan deliniasi DAS, data *DEM* dimasukkan dalam komponen ini untuk (HEC, 2021).

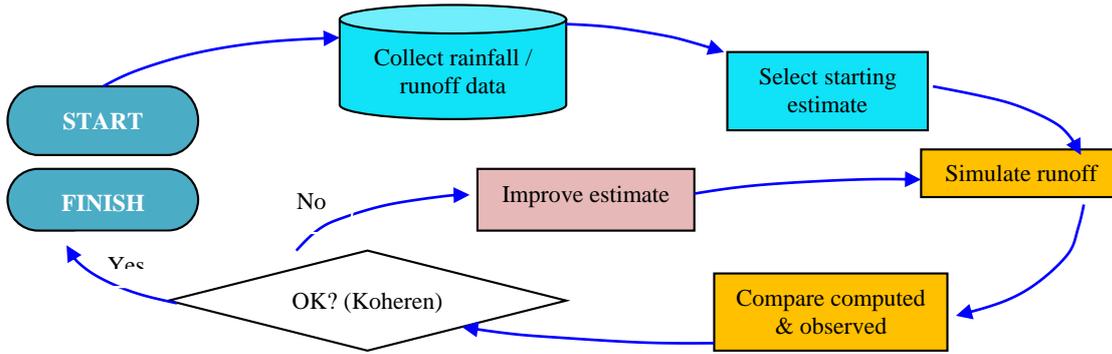
Kalibrasi, optimasi, dan validasi

Proses kalibrasi (Gambar 2) merupakan sebuah proses untuk mengoptimasi nilai parameter awal yang digunakan dalam suatu model. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter yang lebih optimum agar pemodelan memiliki nilai korelasi yang lebih baik. Proses optimalisasi nilai parameter untuk meningkatkan koherensi antara respon hidrologi DAS yang teramati dan tersimulasi (Mardhotillah *et al.*, 2014).

Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan data hidrometeorologi hasil observasi untuk mendapatkan parameter yang paling sesuai dari hasil perhitungan. Proses kalibrasi ini sering disebut sebagai optimasi (Feldman, 2000).

Optimization dan validasi merupakan tahapan yang dilakukan setelah pengisian semua elemen dan parameter. Proses ini dilakukan sepanjang satu tahun sebagaimana juga dilakukan dalam penelitian lain. Hasil kalibrasi dan validasi dilakukan uji kinerja untuk menentukan model dapat diterima atau tidak.

Dalam *software HEC-HMS* terdapat fitur *optimization* untuk melakukan optimasi pada parameter-parameter yang memerlukan kalibrasi sesuai interval yang ditentukan. Dalam studi kasus ini parameter yang dikalibrasi adalah nilai x dari Metode *Muskingum*, *initial discharge groundwater*, dan *groundwater coefficient* pada Metode *Linier Reservoir* terkait *baseflow*.



Gambar 2. Skema kalibrasi model HEC-HMS (Feldman, 2000)

Pengujian kinerja model

Uji kinerja dilakukan dengan membandingkan data hasil pemodelan dan data observasi, dengan kriteria statistik *coefficient of determination R square* (R^2) yang merupakan proporsi varians dalam data terukur yang dijelaskan model, *Nash-Stuclift (NSE)* dan *PBIAS* sebagaimana dijelaskan pada Tabel 5. Kalibrasi menggunakan R^2 dilakukan untuk mendapatkan gambaran kemiripan data total varian hasil pemodelan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Legates & Mc Cabe, 1999).

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_{bsi} - O_{bs})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_{bsi} - O_{bs})^2}} \cdot \frac{(Sim_i - \bar{O}_{bs})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Sim_i - \bar{S}_{im})^2}} \right)^2 \quad (6)$$

dimana O_{bs} merupakan data hasil observasi, S_{im} merupakan data hasil simulasi, \bar{O}_{bs} merupakan rerata data hasil observasi, \bar{S}_{im} merupakan rerata data hasil simulasi.

Kalibrasi dengan *NSE* digunakan untuk menilai hasil prediksi model hidrologi terhadap data observasi. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_m^t - Q_o^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \bar{Q}_o)^2} \quad (7)$$

dimana \bar{Q}_o merupakan debit rerata hasil observasi, Q_m^t merupakan debit hasil pemodelan pada waktu t , dan Q_o^t adalah debit hasil observasi pada waktu t .

Rerata respon hasil pemodelan terhadap data observasi dapat dilihat juga dengan *PBIAS*. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_m)}{n \cdot \sum_{i=1}^n Q_o} \quad (8)$$

dimana Q_m merupakan debit hasil pemodelan dan Q_o merupakan debit hasil observasi. Kalibrasi data hasil simulasi diklasifikasikan kedalam berbagai kondisi yaitu: sangat bagus, bagus, memuaskan dan tidak memuaskan, berdasarkan masing-masing kriteria pada Tabel 5 (Moriassi *et al.*, 2015).

Metodologi

Pengumpulan data

Kegiatan pengumpulan data ini dimaksudkan untuk memperoleh data lapangan dari kondisi hidrologi daerah survey melalui pengumpulan data suhu untuk melakukan perhitungan evaporasi, data *DEM* sebagai basis data untuk deliniasi DAS dan mendapatkan karakteristiknya, data tutupan lahan untuk pengisian parameter yang dipengaruhi oleh tutupan lahan, data jenis tanah untuk pengisian parameter yang terkait dengan jenis tanah, data hujan sebagai data curah hujan harian yang *up-to-date* (terbaru) minimum selama sepuluh (10) tahun pengamatan, sebagai input model *HEC-HMS*, dan data *inflow* serta *outflow* waduk sebagai data observasi dalam penilaian kinerja model.

Pengolahan data GIS

Pengolahan data *GIS* dilakukan dengan bantuan software *Q-GIS* untuk mengolah data *DEM*, diperoleh dari beberapa data raster sehingga diperlukan penyatuan data menjadi satu peta agar deliniasi berjalan baik. Data Tutupan Lahan diolah untuk mendapatkan nilai yang sesuai dengan lokasi studi kasus.

Pengolahan data observasi

Data observasi dalam studi kasus ini terdiri dari dua (2) data yaitu data sekunder tanpa pengolahan yang terdiri dari *Inflow Total* dan *Inflow Lokal* milik pengelola bendungan, serta data sekunder yang diolah, yaitu data *TMA* per-jam untuk mendapatkan volume waduk per-jam.

Pemodelan hujan limpasan dengan HEC-HMS

Pemodelan hujan limpasan menggunakan software *HEC-HMS* dengan menggunakan data curah hujan, suhu, tutupan lahan, jenis tanah dan topografi. Pemodelan *HEC-HMS* dilakukan sebagaimana telah dijelaskan di atas.

Tabel 5. Kriteria performa dalam evaluasi model

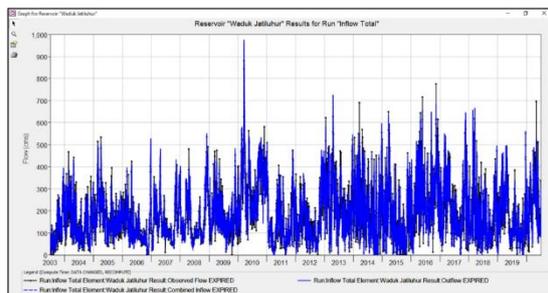
Tingkat performa	R ²	NSE	PBIAS
Sangat Bagus	R ² > 0,85	NSE > 0,80	PBIAS ≤ ± 5
Bagus	0,75 < R ² < 0,85	0,70 < NSE < 0,80	± 5 ≤ PBIAS ≤ ± 10
Cukup Bagus	0,6 < R ² < 0,75	0,50 < NSE < 0,70	± 10 ≤ PBIAS ≤ ± 15
Buruk	R ² < 0,6	NSE < 0,50	PBIAS ≥ ± 15

Kalibrasi dan pemodelan

Setelah pengisian semua parameter untuk masing-masing elemen, selanjutnya dilakukan simulasi dengan nilai parameter statistik awal sebelum dilakukan kalibrasi. Sehubungan dengan adanya 2 data observasi maka kalibrasi dilakukan sebanyak dua (2) kali. Kalibrasi pertama dilakukan dengan data observasi milik PJT II dan kalibrasi kedua dengan data observasi hasil analisis *inflow* per-jam selama 24 jam.

Kalibrasi *inflow* total observasi PJT II

Tahap awal kalibrasi langsung dilakukan sepanjang data yang dimiliki, yaitu 1 Juli 2003 – 30 Juni 2020. Hasil simulasi awal dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Simulasi model HEC-HMS DAS Subbasin Jatiluhur (2003-2020)

Dari hasil simulasi didapatkan nilai parameter statistik R², NSE dan PBIAS pada basis data bulanan dapat dilihat pada Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6. Nilai parameter statistik simulasi HEC-HMS pada Subbasin Jatiluhur

No	Periode	R ²	NSE	PBIAS (%)
1	1 Juli 2003 s.d. 30 Juni 2020	0,971	0,981	1,15

Berdasarkan kriteria pengujian kinerja model pada Tabel 5, dapat disimpulkan bahwa parameter statistik hasil simulasi HEC-HMS untuk subbasin Jatiluhur menunjukkan nilai statistik yang sangat bagus. Kalibrasi dilakukan dengan fitur *optimize* dalam HEC-HMS. *Optimize* dilakukan dengan fungsi objektif berupa *minimize sum of squared residual* karena metode ini memberikan peningkatan parameter statistik lebih baik dari pada fungsi objektif lain. Seri data yang digunakan dalam *optimize* sama dengan waktu dalam simulasi, yaitu tahun 2003-2020. Hasil *optimize* parameter x dan *initial discharge groundwater* dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan hasil *optimize* parameter di atas dilakukan simulasi dan dihitung nilai parameter statistik. Hasil perhitungan parameter statistik berdasarkan hasil *optimize parameter x*, *initial discharge groundwater*, *GW coefficient* dan *GW steps* dapat dilihat pada Tabel 4.

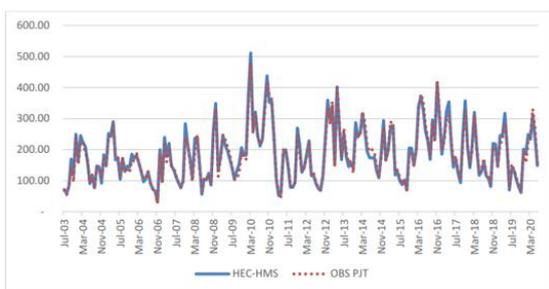
Element	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value
R8	Muskingum x		0.25	0.49782
R7	Muskingum x		0.25	0.17669
R2	Muskingum x		0.25	0.0010142
SSD Cilalaw	Linear Reservoir - GW 1 Discharge per Area (1)	M3/S /KM2	0	0.0771002
SSD Cisomang	Linear Reservoir - GW 1 Discharge per Area (1)	M3/S /KM2	0	0.21162
SSD Jatiluhur	Linear Reservoir - GW 1 Discharge per Area (1)	M3/S /KM2	0	0.0012422
SSD Cilalaw	Linear Reservoir - GW 2 Discharge per Area (2)	M3/S /KM2	0	0.13231
SSD Cisomang	Linear Reservoir - GW 2 Discharge per Area (2)	M3/S /KM2	0	0.0537815
SSD Jatiluhur	Linear Reservoir - GW 2 Discharge per Area (2)	M3/S /KM2	0	.0005505529733063453
SSD Cilalaw	Linear Reservoir - GW 1 Coefficient (1)	HR	9.2	11.059
SSD Cisomang	Linear Reservoir - GW 1 Coefficient (1)	HR	13.1	15.475
SSD Jatiluhur	Linear Reservoir - GW 1 Coefficient (1)	HR	22.6	38.505
SSD Cilalaw	Linear Reservoir - GW 1 Steps (1)		1	2.0000
SSD Cisomang	Linear Reservoir - GW 1 Steps (1)		1	2.0000
SSD Jatiluhur	Linear Reservoir - GW 1 Steps (1)		1	2.0000
SSD Cilalaw	Linear Reservoir - GW 2 Coefficient (2)	HR	30.655	65.827
SSD Cisomang	Linear Reservoir - GW 2 Coefficient (2)	HR	43.670	92.421
SSD Jatiluhur	Linear Reservoir - GW 2 Coefficient (2)	HR	75.239	154.02
SSD Cilalaw	Linear Reservoir - GW 2 Steps (2)		1	2.0000
SSD Cisomang	Linear Reservoir - GW 2 Steps (2)		1	1.00000
SSD Jatiluhur	Linear Reservoir - GW 2 Steps (2)		1	1.00000

Gambar 4. Hasil optimasi parameter HEC-HMS

Tabel 7. Nilai parameter statistik hasil optimasi HEC-HMS pada Subbasin Jatiluhur

No	Periode	R ²	NSE	PBIAS (%)
1	1 Juli 2003 s.d. 30 Juni 2020	0,982	0,973	1,14

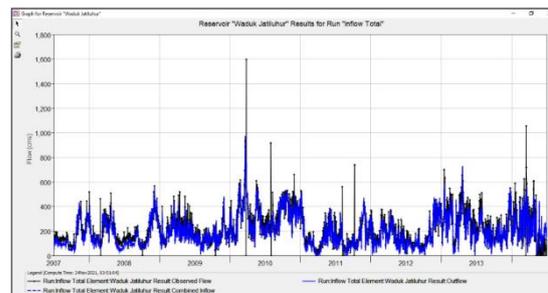
Berdasarkan hasil *optimize parameter x, initial discharge groundwater, GW Coefficient* dan *GW Steps* memberikan peningkatan yang baik pada kriteria statistik. Sehingga model dengan hasil *optimize parameter x, initial discharge groundwater, GW coefficient* dan *GW steps* digunakan untuk tahap validasi. Grafik hasil *optimize* akhir model *HEC-HMS* pada basis data bulanan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kalibrasi debit bulanan Model HEC-HMS Subbasin Jatiluhur

Kalibrasi inflow total hasil analisis per-jam selama 24 jam

Tahap awal kalibrasi langsung dilakukan sepanjang data yang dimiliki, yaitu 1 Juli 2007 – 30 Juni 2014. Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi awal.



Gambar 6. Simulasi Model HEC-HMS DAS Subbasin Jatiluhur (2007-2014)

Dari hasil simulasi didapatkan nilai parameter statistik *R², NSE* dan *PBIAS* pada basis data bulanan dapat dilihat pada Tabel 8 di bawah ini. Berdasarkan kriteria pengujian kinerja model pada Tabel 8, tampak bahwa parameter statistik hasil simulasi *HEC-HMS* untuk subbasin Jatiluhur menunjukkan nilai statistik yang sangat bagus.

Tabel 8. Nilai parameter statistik simulasi HEC-HMS pada Subbasin Jatiluhur

No	Periode	R ²	NSE	PBIAS (%)
1	1 Juli 2007 s.d. 30 Juni 2014	0,931	0,888	9,43

Kalibrasi dilakukan dengan fitur *optimize* dalam *HEC-HMS*. *Optimize* dilakukan dengan fungsi objektif berupa *Minimize Sum of Squared Residual* karena metode ini memberikan peningkatan parameter statistik lebih baik daripada fungsi objektif lain. Seri data yang digunakan dalam *optimize* sama dengan waktu dalam simulasi, yaitu tahun 2007-2014. Hasil *optimize parameter x* dan *initial discharge groundwater* dapat dilihat pada Gambar 7.

Element	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value
R8	Muskingum α		0.28	0.49659
R7	Muskingum α		0.27	0.17702
R2	Muskingum α		0.26	0.001241
SSD Cilaw	Linear Reservoir - Gw 1 Discharge per Area (1)	M3/S /KM2	0	0.0785601
SSD Cisomang	Linear Reservoir - Gw 1 Discharge per Area (1)	M3/S /KM2	0	0.23502
SSD Jatiluhur	Linear Reservoir - Gw 1 Discharge per Area (1)	M3/S /KM2	0	0.00142043
SSD Cilaw	Linear Reservoir - Gw 2 Discharge per Area (2)	M3/S /KM2	0	0.14387
SSD Cisomang	Linear Reservoir - Gw 2 Discharge per Area (2)	M3/S /KM2	0	0.0649024
SSD Jatiluhur	Linear Reservoir - Gw 2 Discharge per Area (2)	M3/S /KM2	0	0.000564378
SSD Cilaw	Linear Reservoir - Gw 1 Coefficient (1)	HR	10.4	11.104
SSD Cisomang	Linear Reservoir - Gw 1 Coefficient (1)	HR	15.2	15.482
SSD Jatiluhur	Linear Reservoir - Gw 1 Coefficient (1)	HR	24.5	38.61
SSD Cilaw	Linear Reservoir - Gw 1 Steps (1)		1.2	2.0435
SSD Cisomang	Linear Reservoir - Gw 1 Steps (1)		1.1	2.0105
SSD Jatiluhur	Linear Reservoir - Gw 1 Steps (1)		1.5	2.0245
SSD Cilaw	Linear Reservoir - Gw 2 Coefficient (2)	HR	32.089	65.827
SSD Cisomang	Linear Reservoir - Gw 2 Coefficient (2)	HR	42.564	92.895
SSD Jatiluhur	Linear Reservoir - Gw 2 Coefficient (2)	HR	76.454	154.89
SSD Cilaw	Linear Reservoir - Gw 2 Steps (2)		1.2	2.1944
SSD Cisomang	Linear Reservoir - Gw 2 Steps (2)		1.05	1.4353
SSD Jatiluhur	Linear Reservoir - Gw 2 Steps (2)		1.52	1.44634

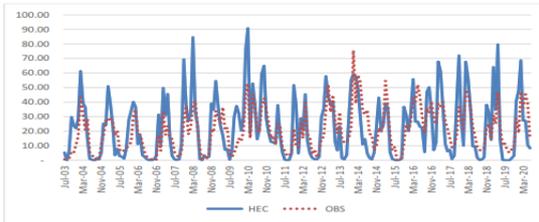
Gambar 7. Hasil optimasi parameter HEC-HMS

Berdasarkan hasil *optimize* parameter-parameter di atas, dilakukan simulasi dan dihitung nilai parameter statistiknya. Hasil perhitungan parameter statistik berdasarkan hasil *optimize* parameter x , *initial discharge groundwater*, *GW coefficient* dan *GW steps* dapat dilihat pada Tabel 9 berikut ini.

Tabel 9. Nilai parameter statistik hasil optimasi HEC-HMS pada Subbasin Jatiluhur

No	Periode	R ²	NSE	PBIAS (%)
1	1 Juli 2007 s.d. 30 Juni 2014	0,932	0,889	9,43

Berdasarkan hasil *optimize* parameter x , *initial discharge groundwater*, *GW coefficient* dan *GW steps* memberikan peningkatan yang baik pada kriteria statistik. Sehingga model dengan hasil *optimize* parameter x , *initial discharge groundwater*, *GW coefficient* dan *GW steps* digunakan untuk tahap validasi. Grafik hasil *optimize* akhir model *HEC-HMS* pada basis data bulanan dapat dilihat pada Gambar 8.

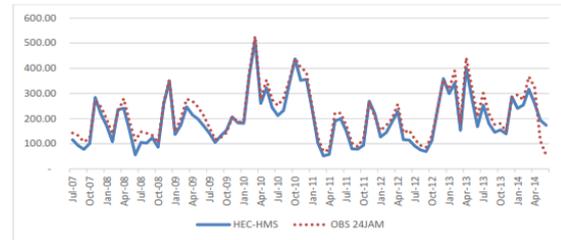


Gambar 8. Kalibrasi debit bulanan Model HEC-HMS Subbasin Jatiluhur

Inflow Lokal Hasil Pemodelan

Berdasarkan hasil analisa pada pembahasan sebelumnya diketahui bahwa kinerja model dengan

data observasi lebih baik adalah dengan menggunakan *inflow* total hasil observasi PJT II. Selanjutnya *inflow* lokal yang akan dibahas adalah menggunakan *inflow* lokal hasil kalibrasi tersebut. *Inflow* lokal diketahui dengan mematikan aliran Waduk Cirata pada pemodelan *HEC-HMS*. Sehingga *inflow* yang masuk ke waduk Jatiluhur murni merupakan *inflow* yang berasal dari sub DAS Jatiluhur, Cisomang dan Cilalawi.



Gambar 9. Perbandingan debit hasil simulasi HEC-HMS dan observasi Sungai Cilalawi tahun 2018 dan 2019

Berdasarkan simulasi yang dilakukan dengan panjang data tujuh belas (17) tahun dapat diketahui besaran *inflow* lokal yang menyumbang Waduk Jatiluhur. Setiap sub DAS memiliki kontribusi pada *inflow* total Waduk Jatiluhur meskipun dalam jumlah yang relatif kecil jika dibandingkan *inflow* yang berasal dari pelepasan waduk Cirata. *Inflow* lokal dari Sub DAS Cisomang, Cilalawi dan Jatiluhur dapat dilihat pada Tabel 10.

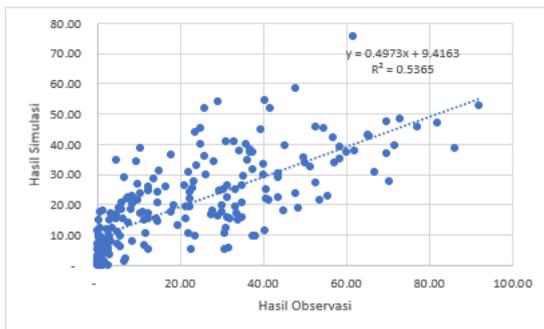
Berdasarkan ketersediaan data yang dimiliki, dilakukan kalibrasi terhadap kebenaran data *inflow* hasil simulasi *HEC-HMS* dengan pencatatan data pos duga air pada sub DAS Cilalawi memiliki parameter statistik R² 0.773 pada tahun 2018 dan R² 0.897 pada tahun 2019 sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 10. Lokal inflow Sub DAS hasil simulasi HEC-HMS (Tahun 2003-2020)

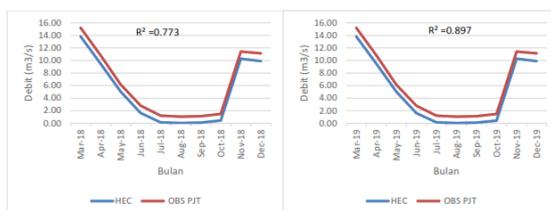
Tahun	Bulan	Waduk Cirata	Sub DAS			Total
			Cilalawi	Cisomang	Jatiluhur	
2003	Jul	67,71	2,48	1,99	0,09	72,27
2003	Aug	56,43	-	-	0,12	56,55
2003	Sep	81,91	1,17	1,53	5,77	90,38
2003	Oct	137,52	5,62	6,80	23,43	173,37
2003	Nov	93,73	7,10	9,87	16,29	126,99
2003	Dec	229,74	0,28	0,18	21,75	251,95
2004	Jan	134,95	2,67	5,75	22,69	166,06
2004	Feb	182,03	12,88	16,28	47,88	259,07
2004	Mar	187,09	10,43	13,34	29,10	239,96
2004	Apr	172,41	6,42	7,58	29,67	216,08
2004	May	140,06	0,24	0,23	12,48	153,01
2004	Jun	89,95	0,03	0,04	1,00	91,02
...
2020	May	229,42	0,05	1,91	26,55	257,93
2020	Jun	141,60	0,05	1,87	24,96	168,48

Korelasi lokal *inflow* HEC-HMS terhadap lokal *inflow* observasi

Hubungan korelasi *inflow* lokal terhadap *inflow* total Waduk Jatiluhur dapat dianalisa dengan perangkat *MS Excel*. Berdasarkan basis data bulanan perbandingan lokal *inflow* hasil HEC-HMS dan lokal *inflow* hasil observasi memiliki nilai parameter statistik R^2 yang berbeda setiap tahunnya. Korelasi tertinggi diketahui pada periode Juli 2018 - Juni 2019 dengan nilai R^2 sebesar 0.911. Namun secara keseluruhan periode simulasi (Juli 2003 – Juni 2020) korelasi antara lokal *inflow* yang diperoleh dari pengelola bendungan dan lokal *inflow* hasil simulasi dengan HEC-HMS masih dalam kategori buruk dengan nilai R sebesar 0.5365 (Gambar 10). Hal ini belum dapat ditelusuri secara detail disebabkan belum tersedianya data observasi dari seluruh sub DAS.



Gambar 10. Hubungan korelasi *inflow* lokal dengan *inflow* Waduk Jatiluhur



Gambar 11. Perbandingan besaran *inflow* lokal HEC-HMS VS *inflow* lokal observasi Waduk Jatiluhur

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi kasus pengaruh lokal *inflow* terhadap *inflow* Waduk Jatiluhur dapat disimpulkan dalam beberapa hal. Studi kasus ini menggunakan data observasi *inflow* harian Perum Jasa Tirta II dan *inflow* harian hasil analisa tinggi muka air (TMA) waduk selama 24 jam. Analisa *inflow* total waduk menggunakan data observasi *inflow* harian Perum Jasa Tirta II menghasilkan performa R^2 0.846, NSE 0.842 dan $PBIAS$ 1.12% pada basis data harian,

performa R^2 0.982, NSE 0.973 dan $PBIAS$ 1.14% pada basis data bulanan.

Analisa *inflow* total waduk menggunakan data analisa *inflow* harian TMA waduk selama 24 jam menghasilkan performa R^2 0.774, NSE 0.749 dan $PBIAS$ 9.43% pada basis data harian, performa R^2 0.932, NSE 0.889 dan $PBIAS$ 9.43% pada basis data bulanan. Analisa *inflow* lokal menggunakan data observasi *inflow* harian Perum Jasa Tirta II menghasilkan performa R^2 0.328, NSE 0.156 dan $PBIAS$ 10.09% pada basis data harian, performa R^2 0.556, NSE 0.062 dan $PBIAS$ 9.42% pada basis data bulanan. Analisa *inflow* lokal waduk menggunakan data analisa *inflow* harian TMA waduk selama 24 jam menghasilkan performa R^2 0.174, NSE -0.036 dan $PBIAS$ 48.98% pada basis data harian, performa R^2 0.533, NSE -0.457 dan $PBIAS$ 48.88% pada basis data bulanan.

Hasil studi kasus menunjukkan parameter-parameter pada *inflow* lokal hasil observasi (R^2 : 0,693; NSE : 0,525; $PBIAS$: 9,88%) dengan sumber data dari pengelola Waduk Jatiluhur lebih baik daripada *inflow* lokal hasil analisa (R^2 : 0,533; NSE : -0,457; $PBIAS$: 48,88%) dengan sumber data dari tinggi muka air (TMA). Sementara pada *inflow* total hasil observasi (R^2 : 0,982; NSE : 0,973; $PBIAS$: 1,14%) dengan sumber data dari pengelola Waduk Jatiluhur lebih baik daripada *inflow* total hasil analisa (R^2 : 0,932; NSE : 0,889; $PBIAS$: 9,43%) dengan sumber data dari tinggi muka air (TMA).

Saran

Studi kasus ini hanya mempunyai satu data observasi yaitu pada Waduk Jatiluhur saja, untuk mengoptimalkan hasil studi kasus ini bisa ditambahkan data pos-pos duga air dari Sungai Cisomang dan Sungai Cilalawi untuk mengkalibrasi *inflow* lokal dari kedua sub DAS tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Balai Besar Wilayah Sungai Citarum Kementerian PUPR, kepada Perum Jasa Tirta II, kepada segenap dosen dan karyawan Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang, serta kepada seluruh teman di Magister Teknik Sipil Konsentrasi Manajemen Rekayasa Bangunan Tinggi II (MRBT II).

Daftar Pustaka

Feldman, A. D. (2000). *Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual*. Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual, March, 148.

- Ferdiansyah, A., Ginanjar, M. R., & Akrom, I. F. (2020). Potensi Debit Aliran Lokal Waduk Saguling Menggunakan Model Hujan Limpasan. *Jurnal Sumber Daya Air*, 16(1), 35-50. <https://doi.org/10.32679/jsda.v16i1.606>.
- HEC. (2021). HEC-HMS User's Manual.
- Kemen Pupr. (2017). *Perhitungan Hidrologi: Rancang Bangun Pembelajaran Mata Diklat (RBPMD)*. In Diklat Teknis Perencanaan Bendungan Urugan Tingkat Dasar.
- Legates, D. R., & McCabe Jr, G. J. (1999). Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water resources research*, 35(1), 233-241. <https://doi.org/10.1029/1998WR900018>.
- Li, M. H., & Chibber, P. (2008). Overland flow time of concentration on very flat terrains. *Transportation Research Record*, 2060(1), 133-140. <https://doi.org/10.3141/2060-15>.
- Mardhotillah, M., Sutikno, S., & Fauzi, M. (2014). Pemodelan Hujan-Aliran Daerah Aliran Sungai Rokan Dengan menggunakan Data penginderaan Jauh. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, 1(1), 1-12.
- Moe. (2020). HMS Model Calibration Strategies.
- Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1763-1785. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10715>.
- Petrus S. (2020). *Pembuatan Pola Operasi Waduk Kaskade Citarum Tahun 2020*. Pembuatan Pola Operasi Waduk Kaskade Citarum Tahun 2020.
- Rawls, W. J., Gimenez, D., & Grossman, R. (1998). Use of soil texture, bulk density, and slope of the water retention curve to predict saturated hydraulic conductivity. *Transactions of the ASAE*, 41(4), 983-988.
- Tisnasuci, I. D., & Sukmono, A. (2020). Analisis pengaruh perubahan tutupan lahan Daerah Aliran Sungai Bodri terhadap debit puncak menggunakan metode Soil Conservation Service (SCS). *Jurnal Geodesi Undip*, 10(1), 105-114.
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset.
- USACE. (2021). *HEC-HMS User's Manual* (p. 655).