

MANAJEMEN SUMBERDAYA AIR DAERAH ALIRAN SUNGAI SEKAMPUNG DI ANTARA BENDUNGAN BATUTEGI DAN BENDUNG ARGOGURUH, PROPINSI LAMPUNG: KERANGKA ANALITIS PENYUSUNAN POLA OPERASIONAL WADUK HARIAN

Water Resources Management in River Basin Among The Batutegei Dam and The Argoguruh Weir, Lampung
Province: Analytical Framework for The Preparation of The Daily Operational Patterns of Reservoir

Ridwan¹, Putu Sudira², Sahid Susanto², Lilik Sutiarmo²

¹Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1,
Bandar Lampung 35141

²Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora No.1, Bulaksumur,
Yogyakarta 55281

Email: zahabridwan@yahoo.com

ABSTRAK

Makalah ini menyajikan suatu teknis analisis yang baru dalam penentuan pola operasi (SOP: Standar Operasi Prosedur) waduk Batutegei harian. Elevasi muka air waduk Batutegei sejak mulai beroperasi pada tahun 2004 belum pernah mencapai posisi elevasi normal (+274 m), diduga sebagai akibat semakin menurunnya debit inflow waduk Batutegei pada satu sisi dan di sisi lain terjadi peningkatan debit outflow untuk memenuhi permintaan (demand) air irigasi oleh Bendung Argoguruh. Meningkatnya permintaan air di Bendung Argoguruh akibat menurunnya debit Sungai Sekampung yang berasal dari daerah tangkapan hujan Bendung Argoguruh. Manajemen sumberdaya air di antara kedua bangunan sumberdaya air tersebut belum optimal untuk memenuhi berbagai kebutuhan, terutama irigasi. Tujuan penulisan makalah adalah untuk mempromosikan satu teknik analisis sistem sumberdaya air pada suatu daerah aliran sungai (DAS) yang memiliki dua bangunan air yang terhubung secara fungsional serta merumuskan pola operasional waduk harian berdasarkan ketersediaan air di waduk dan di sungai sebagai salah satu sistem pengelolaan sumberdaya air terpadu. Teknik analisis yang diusulkan menggunakan kombinasi dari penggunaan rumus empiris dan model SWAT yang sudah dikalibrasi untuk memprediksi produksi air DAS harian. Teknik analisis dilakukan dengan tahapan proses secara berturut-turut, yaitu (1) Kalibrasi Model SWAT, (2) Analisis *Water Yield* DAS, (3) Analisis penelusuran debit sungai (*river routing*), (4) Analisis ketersediaan air sungai (*supply*), (5) Analisis kebutuhan air (*demand*), (6) Analisis ketersediaan air waduk, dan (7) Analisis kebutuhan *release*. Hasil teknik analisis diuji dengan mempelajari perilaku ketersediaan air waduk (*reservoir routing*) dan uji ketepatan alokasi air menggunakan uji reliabilitas dengan target minimum 80%. Teknik analisis yang diusulkan dapat digunakan untuk menghitung ketersediaan air pada waduk, debit aliran sungai harian sebagai informasi ketersediaan air di sungai, pelepasan debit harian dari reservoir, dan Standar Operasional Prosedur (SOP) waduk harian.

Kata kunci: Analisis sistem, sumberdaya air, bendungan, model SWAT

ABSTRACT

This paper present a technical analysis for obtaining an operating procedure of reservoir referred to water level reservoir and daily water availability at stream flows. Reservoir water level conditions Batutegei since starting operations in 2004 has never reached the normal elevation (+274 m), allegedly as a result of the decline in reservoir inflow discharge Batutegei on one side and on the other hand an increase in outflow discharge to meet the demand (demand) irrigation water by the dam Argoguruh. The increasing demand for water in the dam due to declining Argoguruh Sekampung river discharge from the dam catchment Argoguruh. Management of water resources between the two buildings is not optimal water resources to meet a variety of needs, especially irrigation. The objectives were to promote a watershed

resources management system analysis which has two water buildings connected functionally and formulating reservoir daily operational pattern based on the consideration of the water availability at reservoir and river as one integrated water resources management system. Technical analysis which were proposed is the combination of empiric formula approach and SWAT model utilization calibrated to predict water yield of the basin. Technical analysis is done by stages in the process of succession, namely (1) calibration SWAT model, (2) Analysis of Water Yield, (3) analysis of streamflow (river routing), (4) analysis of river water availability (supply), (5) Analysis of water demand, (6) analysis of water supply reservoirs, and (7) analysis of needs release. Results of the analysis technique was tested by studying the behavior of water supply reservoirs (reservoir routing) test the accuracy of water allocation and use of test reliability with a minimum target of 80%. This analysis method will acquire water availability at reservoir, daily discharge of stream flow, daily release from reservoir, and a new concept for arrange of Standard Operating Procedure (SOP) of reservoir.

Keywords: Analysis system, water resources management, reservoir, SWAT model

PENDAHULUAN

Bendungan Batutege dan Bendung Argoguruh merupakan dua komponen sumber-daya air buatan yang terdapat dalam satu daerah aliran sungai (DAS). Keduanya saling berhubungan dalam satu sungai yaitu Way Sekampung. Bendungan Batutege berada di bagian hulu DAS Way Sekampung dengan luas daerah tangkapan hujan (*cacthment area*) 424 km² sedangkan Bendung Argoguruh berada ± 79,6 km di bawah Bendungan Batutege memiliki daerah tangkapan hujan seluas 2.155 km². Tujuan utama dibangunnya Bendungan Batutege adalah untuk meningkatkan suplai air ke Bendung Argoguruh sehingga layanan daerah irigasi di Daerah Irigasi Sekampung System dapat diperluas (Tabel 1).

Tabel 1. Rencana pengembangan luas areal sawah di daerah irigasi sekampung system

Musim tanam	Luas tanam padi (Ha/Tahun)		
	Sebelum ada Bendungan Batutege (Pra-2004)	Setelah ada Bendungan Batutege (Pasca-2004)	Peningkatan
Rendeng	43.588	66.573	22.985
Gadu	19.054	41.980	22.926
Total	62.642	108.553	45.911

Setelah memasuki tahap operasional sejak tahun 2004 hingga saat ini kondisi elevasi muka air waduk Batutege belum pernah mencapai posisi elevasi normal (+274 m). Hal ini diduga sebagai akibat semakin menurunnya debit *inflow* waduk Batutege pada satu sisi dan di sisi lain terjadi peningkatan debit *outflow* untuk memenuhi permintaan (*demand*) air irigasi oleh Bendung Argoguruh. Meningkatnya permintaan air di Bendung Argoguruh akibat menurunnya debit Sungai Sekampung yang berasal dari daerah tangkapan hujan Bendung Argoguruh.

Berdasarkan keadaan tersebut di atas, dapat dirumuskan permasalahan dalam penge-lolaan sumberdaya air DAS Way Sekampung di antara Bendungan Batutege dan Bendung Argoguruh adalah manajemen sumberdaya air di antara kedua bangunan sumberdaya air tersebut belum optimal untuk memenuhi berbagai kebutuhan, terutama irigasi.

Tujuan penelitian adalah memperkenalkan satu teknik analisis dalam manajemen sumberdaya air terkait upaya peningkatan efisiensi pemanfaatan air dalam Daerah Aliran Sungai Sekampung di antara Bendungan Batutege dan Bendung Argoguruh melalui pembentukan pola operasional bendungan sebagai suatu *Standard Operating Procedure* (SOP) waduk dan bendungan harian.

METODE PENELITIAN

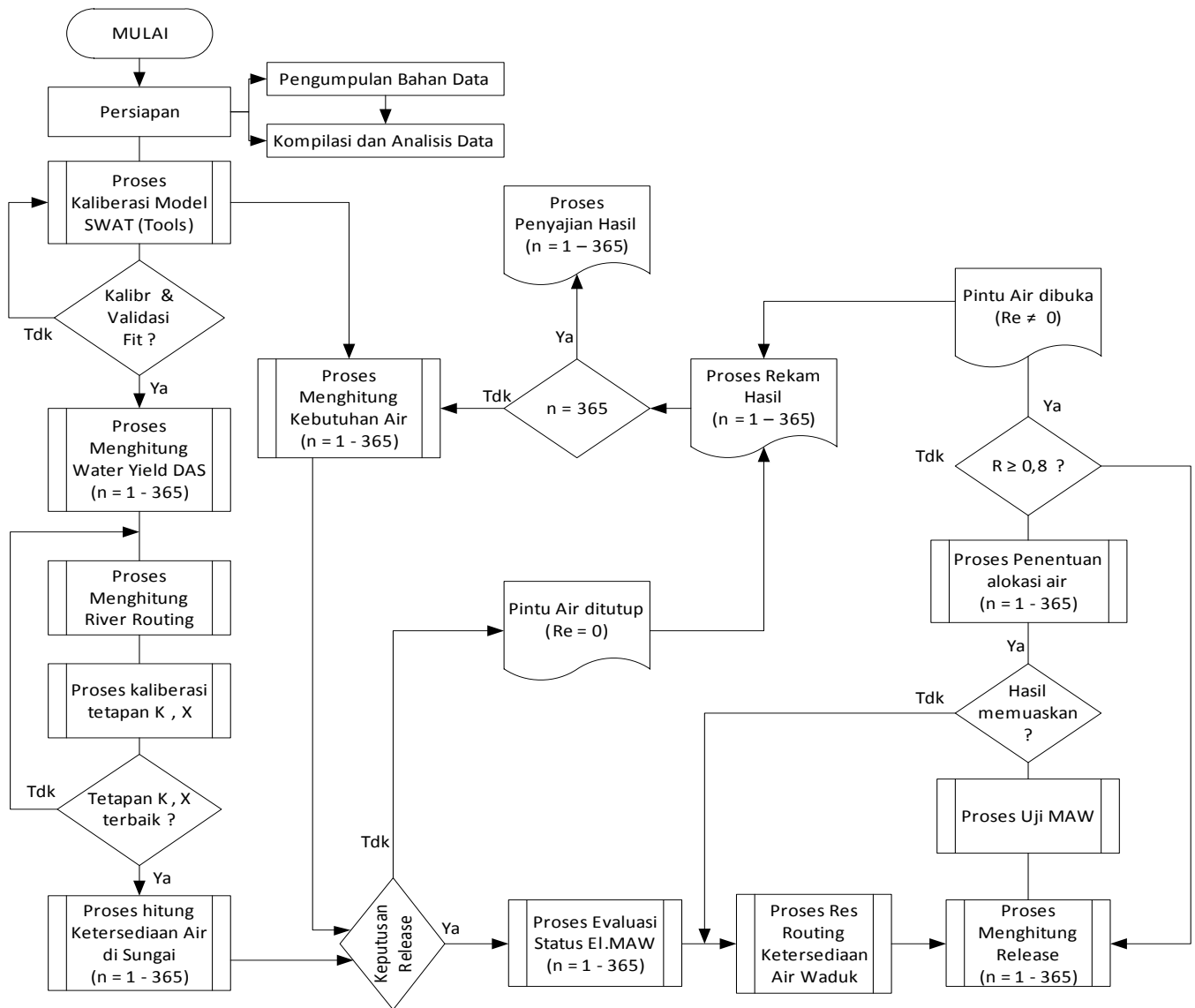
Pelaksanaan penelitian mengikuti bagan alir proses yang menggambarkan suatu teknik analisis manajemen sumberdaya air sebagaimana disajikan pada Gambar 1.

Pengumpulan dan Analisis Data

Kegiatan tahap awal analisis adalah pengumpulan, kompilasi, dan analisis data. Data yang digunakan terdiri dari data spasial dan data non-spasial meliputi data hidrologi, data klimatologi, data topografi dan jenis tanah, data penggunaan lahan, dan data kebutuhan air irigasi pada setiap musim tanam. Data curah hujan dikelompokkan menurut tanggal kejadian hujan. Analisis karakteristik hujan harian meliputi hujan maksimum, hujan rata-rata, dan hujan minimum.

Tahap Proses Analisis

Proses analisis dalam manajemen sumberdaya air di antara Bendungan Batutege dan Bendung Argoguruh dilakukan dengan meliputi tujuh kegiatan berturut-turut,



Gambar 1. Bagan alir teknik analisis dalam manajemen sumberdaya air sebagai kerangkaanalitis penyusunan pola operasional bendungan harian

yaitu (1) Kaliberasi Model SWAT, (2) Analisis *Water Yield* DAS, (3) Analisis penelusuran debit sungai (*river routing*), (4) Analisis ketersediaan air sungai (*supply*), (5) Analisis kebutuhan air (*demand*), (6) Analisis ketersediaan air waduk, dan (7) Analisis kebutuhan *release*.

Kalibrasi Model SWAT

Model SWAT adalah model hidrologi berbasis SIG/ GIS dijalankan dengan *software* ArcSWAT. Kalibrasi Model SWAT dilakukan untuk memperoleh hasil nilai output model yang terbaik. Parameter model SWAT yang biasanya dikalibrasi adalah ESCO (*soil evaporation compensation factor*) pada rentang 0,1 – 1,0; FFCB (*initial soil water*

storage) dengan rentang 0 – 1,0; Surlag (*Surface runoff lag coefficient*) dengan rentang 0 – 4 hari; dan CN2 (*initial SCS runoff curve number*) dengan rentang 30 – 100.

Untuk tujuan kalibrasi maka data hasil simulasi SWAT diuji dengan data debit terukur sebenarnya hasil pencatatan data tahun 1995-2006, dengan tolok ukur nilai koefisien Determinasi (R^2) dan nilai indikator N_{SE} (*Nash-Sutcliffe Efficiency*). Nilai *goodness-of-fit* dari Model *Nash-Sutcliffe Efficiency* (N_{SE}) dihitung dengan persamaan 1.

$$N_{SE} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - O^2 - \sum_{i=1}^n P_i - O_i^2}{O_i - O^2} \dots\dots\dots(1)$$

dimana n adalah jumlah pengamatan selama periode simulasi, O_i dan P_i adalah nilai observasi dan prediksi pada setiap i perbandingan, \bar{O} dan \bar{P} adalah nilai tengah data observasi dan prediksi. Rentang nilai N_{SE} mengacu kepada klasifikasi Moriasi dkk. (2007) dalam Rossi dkk. (2009).

Analisis Water Yield DAS

Analisis *water yield* untuk daerah tanggapan hujan Bendung Argoguruh dilakukan menggunakan Model SWAT yang telah terkaliberasi. Tujuan analisis ini adalah mendapatkan nilai debit Sungai Way Sekampung pada kondisi tahun kering, tahun normal, dan tahun basah. Input model SWAT menggunakan data curah hujan rata-rata harian tahun 2006-2009. Edit input SWAT dilakukan untuk variabel iklim yang disesuaikan dengan kondisi iklim rata-rata pada tahun yang sama 2006-2009. Proses *run* SWAT diatur (*setup*) simulasi sebagai berikut (1) Periode simulasi selama 3 tahun dimulai dari 1 Januari 2006 – 31 Desember 2008, (2) Distribusi hujan menggunakan distribusi Skewed normal, dan (3) Basis data analisis adalah Harian. Hasil simulasi (*Run* SWAT) selanjutnya divalidasi menggunakan data debit terukur sebenarnya pada stasiun pencatat tinggi muka air Kresnowidodo (PDA-012) untuk tahun data 2006-2009, dengan indikator R^2 dan N_{SE} .

Analisis Penelusuran Debit Sungai (River Routing)

Analisis penelusuran debit (*river routing*) ditujukan untuk mengetahui lama waktu perjalanan air dari titik outlet Bendungan Batutege hingga inlet Bendung Argoguruh. Metode yang digunakan adalah metode Muskingum (Chow dkk. 1988).

Teknik analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- 1) Membagi sungai Way Sekampung menjadi 3 (tiga) segmen sebagai berikut seperti disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Segmentasi sungai dalam penelusuran debit

No	Segmen	Inlet	Outlet
1.	I	Batutege	PDA- 001 Way Galih
2.	II	PDA- 001 Way Galih	PDA- 002 Way Wayah
3.	III	PDA- 002 Way Wayah	PDA- 012 Krisnowidodo

- 2) Proses routing dimulai dari segmen I, menggunakan data debit terukur pada outlet Batutege sebagai I_1 , dan debit terukur pada PDA-001 sebagai O_1 , kemudian menghitung routing menggunakan nilai tetapan K dan X awal (*initial condition*).
- 3) Setelah diperoleh hidrograf output sintesis pada PDA-001, nilai-nilai hidrograf tersebut selanjutnya diuji dengan data debit (hidrograf) terukur pada PDA-001. Jika hasilnya belum memuaskan maka dilakukan

analisis berulang dengan mensimulasi nilai K dan X sehingga diperoleh nilai R^2 dan N_{SE} yang terbaik.

- 4) Proses analisis routing dilanjutkan kepada segmen II dan III dengan teknik yang sama, sehingga pada akhirnya diketahui lama waktu perjalanan air total dari Batutege hingga Argoguruh.
- 5) Hasil analisis routing setiap segmen selanjutnya divalidasi dengan hasil pendugaan debit Model SWAT. Hal ini perlu dilakukan karena pada setiap segmen terdapat masukan debit dari sub DAS yang berada di atasnya.

Analisis Ketersediaan Air Sungai (Supply)

Analisis ketersediaan air sungai ditujukan untuk menentukan jumlah air yang tersedia di sungai Way Sekampung pada titik inlet Bendung Argoguruh. Pada proses ini digunakan asumsi air yang terdapat di pintu Argoguruh semuanya berasal dari *water yield catchment* Argoguruh dan tidak ada penambahan debit dari *release* Batutege ($Re = nol$). Persamaan matematis yang diusulkan untuk analisis ketersediaan air ini disajikan pada Persamaan 2.

$$KA_{(\Delta t)} = TRO_{(\Delta t)} - (IR + Qout)_{(\Delta t)} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- $KA_{(\Delta t)}$ = Ketersediaan air dalam sungai pada selang Δt
- $TRO_{(\Delta t)}$ = Debit sungai pada selang Δt
- $IR_{(\Delta t)}$ = Kebutuhan air irigasi untuk hari berselang Δt
- $Qout_{(\Delta t)}$ = Kebutuhan debit pemeliharaan sungai hari berselang Δt
- Δt = selang waktu (*time lag*) aliran sungai

Hasil analisis akan menunjukkan cukup atau tidaknya air di sungai (pintu inlet Bendung Argoguruh) untuk memenuhi kebutuhan irigasi. Jika hasil analisis menunjukkan bahwa $KA < 0$ (nol) berarti diperlukan tambahan air dari Bendungan Batutege ($Re > 0$), dan demikian sebaliknya $Re = 0$ jika $KA > 0$.

Analisis Kebutuhan Air (Demand)

Analisis kebutuhan air di Bendung Argoguruh sebagai fungsi *demand* dalam sistem sumberdaya air di antara bendung ini dan Bendungan Batutege, terdiri dari dua komponen yaitu kebutuhan air untuk irigasi di *DI Sekampung System* dan kebutuhan air untuk pemeliharaan lingkungan sungai daerah hilir. Untuk kebutuhan irigasi maka teknik analisis yang dilakukan adalah menjumlahkan semua kebutuhan air pada pintu *intake* irigasi untuk rentang waktu irigasi dua mingguan sebagaimana tertuang dalam Rencana Tata Tanam Global (RTTG) Daerah Irigasi (DI) Sekampung tahun 2006-2009.

Selanjutnya membagi hasil hitung total kebutuhan air dengan jumlah hari rata-rata selama seminggu sehingga diperoleh jumlah total kebutuhan air harian. Adapun untuk keperluan pemeliharaan lingkungan sungai di hilir digunakan angka yang tetap sebesar 3-5 m³/det.

Analisis Ketersediaan Air Waduk

Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui jumlah total air yang masuk ke dalam waduk Batutegei rata-rata selama satu tahun (Q_{in}), jumlah total kehilangan akibat evaporasi rata-rata selama satu tahun (E), jumlah air yang dilepas rata-rata selama satu tahun (Re), dan jumlah air yang tersimpan dalam waduk rata-rata dalam satu tahun (S). Teknik analisis ketersediaan air waduk (W) dilakukan dengan cara analisis keseimbangan air dalam waduk berdasarkan Persamaan 3 (Kumar, D.N, Raju, K.S. dan Ashok, B. 2006):

$$W_{(n)} = S_{(n-1)} + Q_{in(n)} - Re_{(n)} - E_{(n)} - DS \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

- S_(n-1) = Jumlah air yang tersimpan di waduk pada hari sebelumnya (n-1)
- Q_{in(n)} = Debit *inflow* pada hari ke-n
- Re_(n) = Jumlah air yang dilepas (*release*) dari waduk hari ke-n
- E_(n) = Jumlah air yang terevaporasi dari waduk hari ke-n
- DS = Kapasitas minimum simpanan waduk untuk irigasi

Pada proses analisis ketersediaan air waduk ini digunakan data rata-rata debit inflow dan evaporasi waduk tahun 1995-2009. Adapun besarnya debit *release* menggunakan data *release* tahun 2004-2009.

Analisis Kebutuhan Release

Tujuan analisis ini adalah menentukan jumlah debit yang harus di-*release* oleh Bendungan Batutegei setiap hari sebagai Pola Operasional Harian. Besarnya debit yang harus dilepas (*release*) oleh Waduk Batutegei selain berdasarkan jumlah ketersediaan air di pintu Bendung Argoguruh juga harus mempertimbangkan ketersediaan air di dalam waduk Batutegei. Analisis penentuan besarnya debit *release* sebagai Pola Operasional Harian dilakukan dengan pendekatan persamaan matematik hipotesis sebagaimana disajikan pada Persamaan 4 – 6.

$$Re_n = \begin{cases} D_{(\Delta t)} + W_n - Y_n - TRO_{\Delta t} & ; W_n \geq Y_n + D_{(\Delta t)} \dots\dots(4) \\ D_{(\Delta t)} - (SSRO + BF)_{\Delta t} & ; X_n \leq W_n < Y_n + D_{(\Delta t)} \dots\dots(5) \\ D_{(\Delta t)} + X_n - W_n - BF_{\Delta t} & ; X_n - D_{(\Delta t)} \leq W_n < X_n \dots\dots(6) \end{cases}$$

Tahap Pengujian Hasil Analisis

Pengujian hasil analisis dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu (1) uji tinggi muka air dan (2) uji reliabilitas alokasi air.

Proses uji Tinggi Muka Air Waduk (MAW)

Proses uji tinggi muka air ditujukan untuk menilai efisiensi debit *release* menggunakan pola operasi waduk harian. Dalam proses uji MAW dilakukan *routing* waduk berdasar analisis ketersediaan air waduk. Nilai debit inflow waduk menggunakan data rata-rata debit inflow dan laju evaporasi waduk tahun 1995-2009. Adapun besarnya debit *release* menggunakan hasil analisis kebutuhan *release* yang diduga berdasarkan kebutuhan irigasi sesuai RTTG kondisi data tahun 2006-2009 (2006/2007, 2007/2008, dan 2008/2009). Untuk proses simulasi *routing* ini ditetapkan tinggi MAW awal (*initial condition*) adalah tinggi muka air pada akhir musim tanam tahun 2005/2006 sebagaimana hasil analisis ketersediaan air waduk pada proses analisis (6). Hasil simulasi selanjutnya dibandingkan dengan kondisi MAW terukur tahun 2006-2008 yang menggunakan pola operasi waduk *eksisting* (dua mingguan) dengan indikator penilai uji adalah fluktuasi perubahan tinggi muka air waduk dan jumlah simpanan air waduk pada akhir tahun.

Proses Uji Reliabilitas

Operasional waduk dikatakan optimal apabila terjadi fluktuasi muka air yang nyata sepanjang periode operasi. Elevasi muka air maksimum selama operasi tidak melebihi muka air normal yang diperbolehkan dalam operasi, dan tidak mencapai *minimum operating level* pada tiap tahun operasi sehingga air waduk dapat dimanfaatkan dengan maksimal. Kondisi ini dapat dilihat melalui grafik fluktuasi muka air selama operasi. Variabel optimal dalam operasi waduk dapat didasarkan pada tampungan awal waduk dan *target release* (Rachmad Jayadi, 2008 dalam Mardiani, 2010).

Reliabilitas didefinisikan sebagai tingkat keberhasilan periode dengan *target release* terpenuhi minimum 0,7 ($k \geq 0,7$). Periode operasi adalah satu *event* dalam operasi harian dan target reliabilitas minimum 80%.

$$R = \frac{\text{Jumlah event dengan } k \geq 0,7}{\text{Total event operasi}} \geq 0,8 \dots\dots\dots(7)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keberadaan Bendungan Batutegei akan memberikan manfaat terhadap perluasan areal tanam pada Daerah Irigasi *Sekampung System* (Tabel 1). Penambahan air dari Bendungan Batutegei (suplesi) dilakukan jika produksi air (*water yield*)

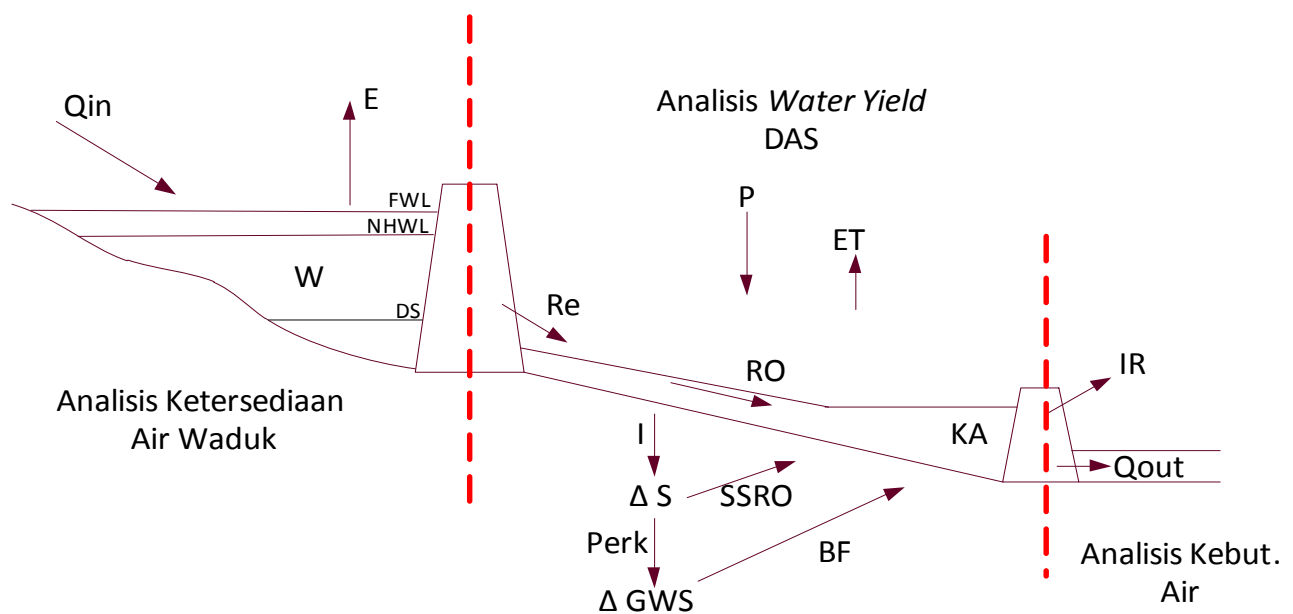
dalam *catchment area* Argoguruh tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan irigasi dan pemeliharaan lingkungan sungai di hilir. Dengan demikian, keseimbangan air dalam *catchment area* Argoguruh ditentukan oleh jumlah hujan yang menjadi limpasan atau debit, jumlah air yang dilepas (*release*) dari waduk Batuteги, kehilangan air akibat evapotranspirasi, dan besarnya pengambilan air oleh Bendung Argoguruh untuk irigasi dan pemeliharaan sungai daerah hilir.

Sistem sumberdaya air di antara Bendungan Batuteги dan Bendung Argoguruh tersebut di atas dapat disederhanakan kedalam bentuk model untuk mendekati pemecahan masalah sebagaimana disajikan dalam Gambar 2. Ketersediaan air di sungai (KA) ditentukan oleh besarnya produksi air (*water yield*) dari *catchment area* Batuteги dan Argoguruh (TRO) dan jumlah kebutuhan air pada bendung yang berada di bagian bawah ($IRR + Q_{out}$). Adapun jumlah air yang tersedia dalam waduk (W) ditentukan berdasarkan keadaan simpanan air dalam waduk hari sebelumnya (S_{n-1}), jumlah air yang diproduksi oleh *catchment area* waduk yang masuk ke dalam

waduk (Q_m), kehilangan air dari waduk akibat evaporasi (E), dan besarnya air yang dilepas (*release*, Re) oleh waduk untuk memenuhi kebutuhan di daerah hilir.

Dengan menggunakan model sebagaimana Gambar 2 maka masalah manajemen sumberdaya air di antara dua bangunan air seperti yang terdapat di DAS Way Sekampung dapat diselesaikan dengan pendekatan analitis, menggunakan kerangka analisis sebagaimana disajikan pada Gambar 3.

Gambar 3 menjelaskan bahwa proses analisis sistem manajemen sumberdaya air di antara dua bangunan air dalam satu sungai meliputi empat komponen subsistem yang saling berhubungan yaitu (1) komponen subsistem waduk, (2) komponen subsistem DAS antardua bangunan air, (3) komponen subsistem sungai sebagai *supply* dan (4) komponen subsistem kebutuhan air sebagai komponen *demand*. *Supply* air dari subsistem waduk diatur oleh karakteristik bendungan di sebelah hulu. *Supply* air dari DAS antardua bendungan diatur oleh karakteristik fisik dan penggunaan lahan DAS. Kecepatan *Supply* air dari kedua subsistem tersebut ditentukan

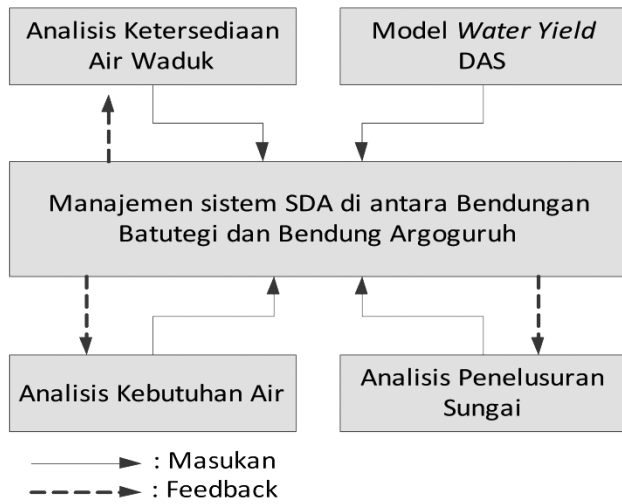


Gambar 2. Model sistem sumberdaya air antara Bendungan Batuteги dan Bendung Argoguruh

Keterangan gambar:

- S_{n-1} = simpanan waduk hari kemarin (m^3)
- DS = kapasitas minimum simpanan waduk (m^3)
- ΔW = perubahan ketersediaan air waduk (m^3)
- Q_n = debit inflow waduk ($m^3 \text{ detik}^{-1}$)
- E = evaporasi waduk ($mm \text{ hari}^{-1}$)
- R_e = release waduk ($m^3 \text{ hari}^{-1}$)
- P = curah hujan ($mm \text{ hari}^{-1}$)
- ET = evapotranspirasi ($mm \text{ hari}^{-1}$)
- RO = debit limpasan langsung ($mm \text{ hari}^{-1}$)
- I = infiltrasi ($mm \text{ hari}^{-1}$)
- BF = aliran dasar ($mm \text{ hari}^{-1}$)

- TRO = total debit sungai ($mm \text{ hari}^{-1}$)
- KA = ketersediaan air di sungai ($mm \text{ hari}^{-1}$)
- IR = kebutuhan air irigasi ($mm \text{ hari}^{-1}$)
- Q_{out} = kebutuhan lingkungan ($mm \text{ hari}^{-1}$)
- FWL = tinggi muka air banjir (281,50 mm)
- NHWL = tinggi muka air normal (274,00 mm)
- DS = tinggi muka air minimal (208,00 mm)
- ΔS = perubahan lengas tanah ($mm \text{ hari}^{-1}$)
- Perk = perkolasi ($mm \text{ hari}^{-1}$)
- SSRO = limpasan bawah permukaan ($mm \text{ hari}^{-1}$)
- ΔGWS = perubahan simpanan airtanah ($mm \text{ hari}^{-1}$)



Gambar 3. Diagram kerangka analisis sistem manajemen sumberdaya air di antara dua bangunan air dalam satu sistem sungai

oleh karakteristik fisik sungai. Adapun pemenuhan *demand* air dari sistem diatur oleh bendung di sebelah hilir.

Untuk mempelajari perilaku subsistem waduk dapat digunakan pendekatan ketersediaan air waduk melalui *routing* waduk. Adapun untuk mempelajari perilaku subsistem DAS dapat menggunakan model SWAT yang dikombinasikan dengan penelusuran sungai (*river routing*).

Model SWAT telah banyak digunakan oleh para peneliti untuk mempelajari berbagai fenomena hidrologi pada suatu DAS. Terdapat berbagai kelebihan dari model SWAT dalam melakukan analisis hidrologi. Kelebihan tersebut antara lain dalam analisis hidrologi mampu melakukan analisis keseimbangan air dan simulasi model untuk periode waktu yang panjang, dapat digunakan untuk analisis hidrologi pada DAS berukuran besar, tidak terbatas ukuran jumlah sub DAS, serta sangat mudah untuk dioperasionalkan oleh pengguna.

Besarnya volume aliran permukaan dalam model SWAT diduga berdasarkan persamaan 8 (Neitsch dkk. 2004):

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0,2S)^2}{(R_{day} + 0,8S)} \dots\dots\dots(8)$$

dimana:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \dots\dots\dots(9)$$

CN = bilangan kurva aliran permukaan, bervariasi dari 0 hingga 100.

Penelusuran sungai (*river routing*) dapat dilakukan dengan metode Muskingum (Chow dkk. 1988). Formulasi model Muskingum untuk analisis perubahan simpanan dalam sungai untuk waktu Δt mengikuti persamaan berikut:

$$S_{j+1} - S_j = \frac{(I_j + I_{j+1})}{2} \Delta t - \frac{(Q_j + Q_{j+1})}{2} \Delta t \dots\dots\dots(10)$$

Persamaan (10) tersebut dapat disederhanakan menjadi:

$$Q_{j+1} = C_1 I_{j+1} + C_2 I_j + C_3 Q_j \dots\dots\dots(11)$$

dimana:

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2KX}{2K(I-X) + \Delta t}, C_2 = \frac{\Delta t + 2KX}{2K(I-X) + \Delta t}, C_3 = \frac{2K(I-X) - \Delta t}{2K(I-X) + \Delta t} \dots\dots\dots(12)$$

dan $C_1 + C_2 + C_3 = 1$

Nilai K dan X adalah tetapan untuk parameter karakteristik sungai yang bersifat konstan dimana K merupakan koefisien penampungan yang berdimensi waktu dan X adalah faktor pembobot yang menggambarkan hubungan antara debit inflow terhadap besarnya tampungan.

Penelusuran waduk (*reservoir routing*) dapat dilakukan dengan persamaan matematis (Elferchichi, A dan Lamaddalena, N, 2008), sebagai berikut:

$$h_{(t+\Delta t)} = h_t + \frac{[Q_{s(t+\Delta t)} - Q_{d(t+\Delta t)}] * \Delta t}{S} \dots\dots\dots(13)$$

dimana : $h(t+\Delta t)$ adalah elevasi muka air waduk pada saat $(t + \Delta t)$, $h(t)$ adalah elevasi waduk pada saat t , $Q_s(t+\Delta t)$ adalah debit inflow pada saat $(t + \Delta t)$, $Q_d(t+\Delta t)$ adalah debit *demand* pada saat $(t + \Delta t)$, S adalah luas permukaan waduk dan Δt adalah selang waktu.

KESIMPULAN

1. Teknik analisis dalam manajemen sumberdaya air yang menggabungkan pendekatan model empiris dan model SWAT dapat digunakan untuk memperkirakan jumlah produksi air di antara dua bangunan air yang terhubung secara fungsional dalam satu Daerah Aliran Sungai.
2. Teknik analisis yang diusulkan dapat digunakan menghitung jumlah ketersediaan air dalam waduk, debit harian sungai, menentukan besarnya debit release waduk, dan membangun satu Pola operasional bendungan harian sebagai suatu *Standard Operating Procedure* (SOP) waduk dan bendungan harian.

DAFTAR PUSTAKA

Chow, Ven Te., Maidment, R.D. dan Mays. L.W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company.
 Elferchichi, A. dan Lamaddalena, N. (2008). *Analysis of the Reservoir Operation in on Demand Irrigation System*. Irrigation in Mediterranean Agriculture: Challenges

- and Innovation for the next decades. CIHEAM – Mediterranean Agronomic Institute of Bary, Italy.
- Kumar, D.N., Raju, K.S., dan Ashok, B. (2006). Optimal reservoir operation for irrigation of multiple crop using genetic algorithms. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE. **March/April**: 123-129.
- Mardiani, (2010). *Pengembangan Sumberdaya Air Waduk Pandanduri, Lombok, Nusa Tenggara Barat*. Tesis. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Neitsch S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R., Williams, J.R. (2004). *Soil and Water Assessment Tool*. Ver 2005. Grassland, Soil and Water Research Laboratory. Agriculture Research Service, Texas.
- Rossi, C.G., Srinivasan, R., Jirayoot, K., Le, D.T., Souvannabout, P., Binh, N., Gassman, P.W. (2009). Hydrologic evaluation of the lower mekong river basin with the soil and water assessment tool model. *International Agricultural Engineering Journal* **18**(1-2): 1-13.