

APLIKASI MODEL SMAR PADA DUA DAS IDENTIK

Application of SMAR Model at Two Identical Watershed

Indarto

Lab. Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL), PS Teknik Pertanian,
Fakultas Teknik Pertanian, Universitas Negeri Jember
E-mail: indarto.ftp@unej.ac.id

ABSTRACT

This paper shows the evaluation process (calibration and validation) of SMAR (The Soil Moisture Accounting Rainfall-Runoff) model at two identical catchment areas (Rawatamtu and Kloposawit) in East Java – Indonesia. Daily discharge, rainfall data and meteorological data were collected from measurement stations located at the catchments areas. Potential evapotranspiration (PET) was calculated from meteorological data extracted from existing stations located inside of the catchments. Calibration was conducted for periods of: 1991 to 1994, while validation was tested for periods of: 1995 to 2000. Model performance was evaluated by means of: (1) Nash-Sutcliffe coefficient, (2) correlation coefficient and (3) graphical comparison of calculated and measured flow. The result shows the Nash-Sutcliffe coefficient = 0,73 and correlation coefficient = 0,86 for calibration period at Rawatamtu, while the same coefficients for Kloposawit are 0,54 and 0,74. Validation periods produce Nash-Sutcliffe and correlation coefficients = 0,35 and 0,64 for Rawatamtu. While for Kloposawit the values are 0,48 and 0,81.

Key words: Calibration, Validation, SMAR Model, identical catchments, East Java

ABSTRAK

Tulisan ini memaparkan proses dan hasil kalibrasi dan validasi model SMAR (The Soil Moisture Accounting Rainfall Model) pada dua sub-DAS yang relatif identik karakteristik fisiknya (SubDas Rawatamtu dan SubDas Kloposawit, Jawa Timur). Data hujan harian, evaporasi harian dan debit harian diperoleh dari alat ukur yang terletak pada kedua SubDAS tersebut. Metodologi mencakup: visualisasi data, kalibrasi dan validasi model. Kalibrasi dilakukan menggunakan kombinasi metode Automatic dan Manual yang tersedia pada model. Kalibrasi dilakukan pada periode: 1991 sd 1994. Validasi dilakukan pada periode: 1995 sd 2000. Selanjutnya, Coefficient Nash-Sutcliffe, koefisien korelasi dan perbandingan grafik debit terukur dan terhitung digunakan untuk menilai hasil kalibrasi dan validasi. Proses kalibrasi pada Sub-DAS rawatamtu menghasilkan koefisien Nash = 0,73 dan koefisien korelasi = 0,86. Kalibrasi pada Sub-DAS Kloposawit menghasilkan koefisien Nash = 0,54 dan korelasi = 0,74. Validasi pada periode selanjutnya menghasilkan koefisien Nash = 0,35 dan korelasi = 0,64 untuk sub DAS Rawatamtu. Validasi pada sub-DAS Kloposawit menghasilkan koefisien Nash = 0,48 dan korelasi = 0,81.

Kata Kunci : Kalibrasi, validasi, model SMAR, DAS identik, Jawa Timur

PENDAHULUAN

SMAR (*soil moisture and accounting*) adalah model konseptual global hujan-aliran (*rain-fall runoff*) untuk neraca air. Fokus utama adalah pemodelan proses hidrologi terkait dengan perubahan kadar lengas tanah (O'Connell et al., 1970; Kachroo, 1992; Tuteja and Cunnane, 1999). Model menghitung aliran permukaan, debit air-tanah (*ground-water discharge*), evapotranspirasi dan kehilangan (*leakage*) dari profil tanah untuk seluruh wilayah DAS (Daerah Aliran Sungai) pada interval waktu harian.

Struktur Model dan Deskripsi Proses Hidrologi

Model SMAR terdiri dari dua komponen utama: (1) neraca air dan (2) penelusuran aliran. SMAR menggunakan input berupa data hujan dan evaporasi (hasil pengukuran panci evaporasi) untuk simulasi debit aliran sungai pada DAS. Model dikalibrasi dengan data pengukuran debit outlet DAS. Komponen neraca air membagi kolom tanah menjadi lapisan-lapisan horizontal. Lapisan tersebut diasumsikan telah mengandung sejumlah lengas tanah (*soil moisture*), biasanya 25 mm ekuivalen tebal-air pada kapasitas lapang. Evaporasi dari permukaan tanah dimodelkan dan diasumsikan mengurangi kadar air di dalam tanah secara eksponensial dari nilai kebutuhan evapotranspirasi potensial. Komponen penelusuran aliran (*routing component*) mentransfer aliran-permukaan (*runOff*) yang dihasilkan oleh komponen neraca air sampai outlet DAS menggunakan persamaan Gamma dari Nash(1960). Persamaan tersebut diselesaikan dengan persamaan differensial dalam sistem input dan output tunggal. Selanjutnya, aliran air-bawah-tanah (*groundwater flow*) yang dihasilkan, dipropagasi melalui reservoir-

linear tunggal yang selanjutnya memberi kontribusi ke aliran sungai pada outlet DAS. Model SMAR menggunakan (5) parameter neraca air dan (4) parameter untuk penelusuran aliran.

Aliran yang dihasilkan oleh permukaan tanah di dalam DAS (*landscape*) ditransfer (*attenuation and lag*) ke outlet menggunakan model-reservoir-linear-bertingkat (*linear-cascade model*) dari Nash(1960).

Penyelesaian umum untuk menyatakan hubungan antara satu satuan volum input dan output dinyatakan dalam persamaan (1):

$$h(t) = \frac{1}{t} \int_{t-1}^t \frac{1}{KT(n)} \exp\left(\frac{-\tau}{K}\right) \left(\frac{\tau}{K}\right)^{n-1} d\tau \quad (1)$$

dimana:

t = interval simulasi (d)

d = hari

τ = waktu (s) = detik

$K_1 = K_2 = \dots = K_n = K$ adalah koefisien penyimpanan dari sejumlah (n) *reservoir-linear* yang disusun secara bertingkat,

$h(t)$ = ordinat dari fungsi respon pada hitungan ke (d^{-1})

$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} \exp(-\tau) \tau^{n-1} d\tau$ adalah fungsi

gamma dari sistem (tidak berdimensi).

Selanjutnya dijelaskan oleh Nash (1960): "that under constraints of conservation, stability, high damping and the absence of feedback, this two-parameter equation with n an integer and K positive, is almost as general a model as the differential equation of unlimited order. With additional flexibility obtained by allowing n to take fractional values, the impulse response of this equation has the ability to represent, ad-

equately, almost all shapes commonly encountered in the hydrological context”.

Komponen Neraca Air

Komponen neraca air menggunakan (5) parameter untuk mendeskripsikan gerakan air masuk dan ke luar pada kolom tanah di bawah kondisi tekanan atmosfer, yaitu: C, Z, H, Y dan T.

1. Parameter C (tidak-berdimensi) mengatur penguapan dari lapisan tanah. Evaporasi diasumsikan berubah sebagai fungsi eksponensial dari bentuk C^{i-1} , di mana C bernilai antara 0 dan 1 dan $(i) = 1, 2, 3, \dots$ menunjukkan urutan lapisan tanah. Oleh karena itu jika diberikan nilai evaporasi potensial, lapisan pertama akan memenuhi kebutuhan ini pada laju potensial, lapisan ke dua pada laju C , lapisan ke tiga dengan laju C^2 , dan seterusnya. Hal ini akan menggambarkan pengurangan kadar lengas tanah secara eksponensial. Laju evapotranspirasi potensial dari lapisan atas pada hakekatnya mewakili evapotranspirasi dari reservoir intersepsi dan lapisan tanah bagian atas, dengan asumsi tidak ada hambatan oleh gaya kapilaritas tanah.
2. Parameter Z(mm), mewakili kapasitas penyimpanan lengas efektif (*effective moisture storage capacity*) dari tanah yang berkontribusi terhadap mekanisme pembentukan aliran. Tiap lapisan mengandung 25 mm air pada kapasitas lapang.
3. Parameter H (tidak berdimensi), digunakan untuk mengestimasi variabel H' , bagian dari kelebihan hujan (*rainfall excess*) yang menjadi aliran, karena tanah telah jenuh (aliran ini sering disebut sebagai *Dunne run-off*). H' diperoleh dari nilai H, kelebihan

hujan dan kejenuhan tanah. Kejenuhan tanah (*soil saturation*) didefinisikan sebagai perbandingan antara kadar lengas yang tersedia (dalam mm pada waktu t (days) dan 125 mm. Nilai 125 mm, melambangkan kadar air maksimum lima lapisan pertama.

4. Parameter Y (mm.d^{-1}) menggambarkan kapasitas infiltrasi tanah dan digunakan untuk mengestimasi aliran yang dihasilkan karena kapasitas infiltrasi tanah telah terlampaui (*Hortonian run-off*).
5. Parameter T (tidak berdimensi), digunakan untuk menghitung evaporasi potensial dari panci evaporasi (E).

Aliran permukaan dihitung dari kelebihan hujan (*excess rainfall*) sebagai: aliran karena tanah jenuh (*saturation excess runoff*) + aliran Horton + proporsi lengas tanah $(1-G)$ yang melebihi kapasitas penyimpanan tanah (misalnya: *through flow*).

Penelusuran Aliran secara Lateral

Air tanah dan aliran permukaan yang dihasilkan dari komponen neraca-air, dialirkan untuk simulasi selang waktu (*lag time*) sejak kejadian hujan sampai aliran teramati pada outlet DAS. Persamaan yang digunakan untuk memodelkan komponen aliran secara lateral adalah sebagai berikut (Kachroo dan Liang, 1992).

Komponen aliran permukaan

Aliran permukaan yang dihasilkan (r_s , dalam mm/hari) dan propagasi aliran

(Q_T^r , mm/hari) dapat dicari nilai reratanya, menggunakan persamaan (2) dan (3), untuk merepresentasikan nilai harian.

$$r_s(t) = \frac{1}{t} \int_{t-t}^t r_s(\tau) d\tau \text{ ----- (2)}$$

$$Q_T^r(t) = \int_{t-\tau}^t Q_T^r(\tau) d\tau \quad \text{----- (3)}$$

Persamaan linear (4) merupakan persamaan sederhana yang menghubungkan antara input sebagai fungsi waktu (aliran yang dihasilkan) dan aliran yang ditranfer (*routed run-off*). Persamaan ini digunakan dalam pemodelan konseptual, sebagai komponen yang merepresentasikan proses penelusuran aliran.

$$Q_T^r(t) = \sum_{j=1}^m h(j)r_s(t-j+1) \quad \text{----- (4)}$$

di mana :

m = *pulse response function (d)*.

Komponen aliran airtanah

Persamaan kesetimbangan massa untuk aliran air bawah tanah dapat ditulis (5).

$$Q_T^{rech}(\tau) - Q_T^r = \frac{dS(\tau S)}{dt} = DS(\tau) \quad \text{----- (5)}$$

keterangan:

Q_T^{rech} = air tanah yang terisi ulang (mm/s)

Q_T^r = air tanah yang dilepaskan (mm/s)

τ = waktu (s)

$S(\tau)$ = simpanan air tanah

$D = d/d\tau$ = operator diferensial (s^{-1}).

Input Model

Data masukan (*input*) terdiri dari:

1. Hujan (*rainfall*)

Data rentang waktu (*time series*) hujan yang kontinyu. Data hujan tersebut adalah nilai hujan wilayah yang mewakili DAS. Hanya data hujan dalam satuan (mm/hari) yang dapat digunakan.

2. Evaporasi

Data evapotranspirasi potensial (PET) yang kontinyu atau evapotranspirasi aktual yang mewakili evapotranspirasi DAS (satuan mm/hr).

3. Pengukuran aliran (data debit)

Data debit harian digunakan untuk proses kalibrasi model. Satuan yang dapat digunakan: (mm/hari) atau (m^3/s). Jika input data adalah m^3/s maka luas daerah tangkapan hujan harus diketahui.

4. Luas daerah tangkapan hujan

Data ini diperlukan untuk konversi masukan (input) dan luaran (output) antara debit dalam satuan ($m^3/detik$) dan ke debit dalam (mm/hari).

Luaran model

Data luaran (*output*) dari model SMAR adalah berupa aliran harian ataupun bulanan (Tabel 1).

Nilai parameter

Model akan memberikan nilai awal tertentu (*default*) sebelum setting parameter dilakukan. Nilai parameter model (minimum, maksimum dan default) diberikan dalam Tabel 2.

Selanjutnya, proses kalibrasi dan validasi pada suatu DAS akan menghasilkan nilai parameter diantara minimum dan maksimum.

Aplikasi model

Model SMAR merupakan bagian dari satu paket program aplikasi yang disebut RRL (*rainfall runoff library*). RRL digunakan untuk membandingkan proses hidrologi pada tempat yang berbeda dan juga untuk mempelajari tentang model *hujan - aliran*. RRL mempunyai lima (5) model yang dapat digunakan untuk menghitung *runoff*, mengkalibrasi model dan menyediakan

berbagai fasilitas untuk proses kalibrasi model. Model-model RRL sudah dites pada DAS dengan ukuran dari 10km² sd 10000 km² (Podger, 2004). Artikel ini memaparkan hasil kalibrasi dan validasi model pada dua sub-DAS yang relatif identik (sub DAS Rawatamtu dan sub-DAS KlopoSawit).

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di sub-DAS Rawatamtu

(bagian dari DAS Bedadung) dan sub-DAS KlopoSawit (bagian dari DAS Sampean). Ke dua DAS terletak di Wilayah Tapalkuda – Jawa Timur (Gambar 1).

Secara Geografis sub-DAS Rawatamtu terletak pada: 7°58'8" - 8°13'52" LS (Lintang selatan) dan 113°35' – 114°1'17" BT (Bujur Timur). Secara administratif meliputi wilayah Kabupaten Jember (92%) dan Kabupaten Bondowoso (8%) dengan luas sub-DAS sekitar 698 km². Sedangkan, sub-DAS KlopoSawit terletak pada 7°48'11"LS - 8°6'59"LS dan 113°40'9"BT

Tabel 1. Luaran Model SMAR

	Data rentang Waktu	Satuan	Interval Waktu
Iklim	Hujan (<i>Rainfall</i>)	mm/hari	harian
	Evaporasi (<i>Evapotranspiration</i>)	mm/hari	harian
Aliran	Debit terukur (<i>Observed flow</i>)	mm/hari (m ³ /detik)	harian
	Debit terhitung (<i>Simulated flow</i>)	mm/hari (m ³ /detik)	harian/ bulanan

Sumber: Podger, 2004

Tabel 2. Luas Hampanan Jenis Batuan di Daerah Penelitian

Parameter	Nilai Default	Nilai Minimum	Nilai Maksimum
C	0	0	1
G	0	0	1
H	0	0	1
Kg	0	0	1
N	1	1	6
NK	1.00	0.01	1.00
T	0	0	1
Y	0	0	5000
Z	200	0	5000

Sumber: hasil analisis

– 114°3'39"BT yang meliputi sebagian besar wilayah Kabupaten Bondowoso (94%) dan sebagian kecil Kabupaten Jember (6%), dengan luas total sub-DAS sekitar 706 km².

Kedua sub-DAS saling membelakangi pada sisi hulunya dan membentuk triangle-melebar. Sub-DAS Kloposawit mengalir ke arah Situbondo (Laut Utara) sebaliknya sub-DAS Rawatamtu mengalir ke Laut Selatan Pulau Jawa. Dari gambar (1) dan tabel (1), dapat disimpulkan bahwa luas dan bentuk kedua sub-DAS relatif identik. Perbedaan luas kedua sub-DAS, hanya sekitar $(8/700 \times 100\%) = 1,1\%$.

Perbandingan karakteristik fisik mencakup (topografi, peruntukan lahan, jenis

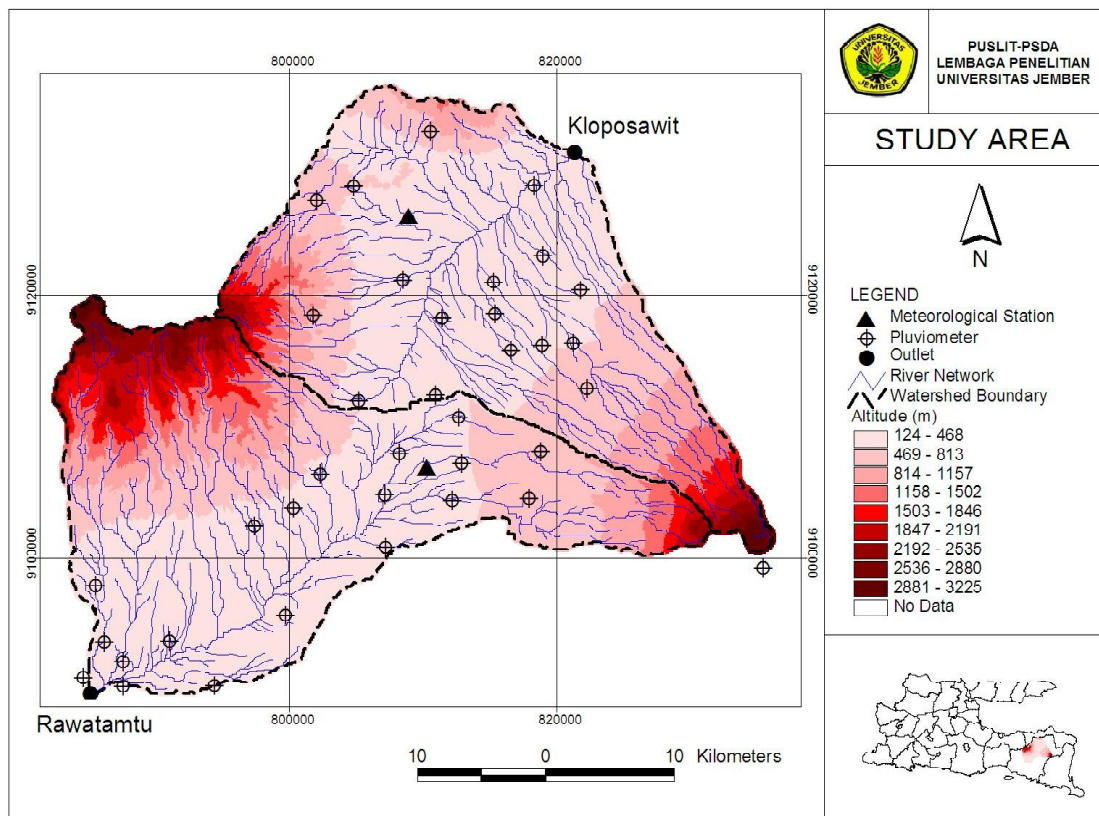
dan kelas tekstur tanah, hidro-geologi, jaringan sungai) menunjukkan bahwa karakteristik fisik ke dua DAS relatif identik (Tabel 3).

Sedangkan karakteristik hidroklimatologi ke dua DAS relatif tidak identik, meskipun ke dua DAS berada pada wilayah yang sama.

Data Masukan

Data Hujan

Hujan merupakan parameter yang bervariasi (Indarto, 2011). Data hujan harian dari 35 stasiun hujan (17 di wilayah sub-DAS Kloposawit dan 18 di wilayah sub-DAS Rawatamtu) digunakan sebagai masukan untuk analisa statistik hujan.



Sumber: hasil analisis

Gambar 1. Sub-Das Rawatamtu Dan Sub-Daskloposawit, Menunjukkan : Batas DAS, Peta Ketinggian (DEM), Jaringan Sungai, Lokasi Stasiun Hujan, Lokasi Awlr

Periode rekaman yang digunakan adalah dari tahun 1991 sd 2005. Hujan wilayah dihitung berdasarkan nilai rerata hujan-harian dari 17 dan 18 stasiun hujan tersebut secara aritmatik.

Evapotranspirasi

Nilai evapotranspirasi potensial (PET/ Eto) dihitung dari data klimatologi yang diambil dari stasiun klimatologi yang ada pada masing-masing sub-DAS (stasiun Cindogo dan Stasiun Kaliwining). Input data berupa: kecepatan angin, lama penyinaran matahari, suhu dan kelembaban udara. Periode rekaman yang digunakan dari tahun 1991 sd 2000. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode Penman-Monteith FAO Irrigation and Drainage Paper No 56 (Allen, 2006), dengan rumus:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta[R_n - G] + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad \text{--- (6)}$$

Keterangan :

- Eto = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)
- D = Slope tekanan uap jenuh ($kP_a^{\circ}C^{-1}$)
- g = Konstanta psychrometric ($kP_a^{\circ}C^{-1}$)
- Rn = Radiasi netto (MJ/m^2 hari)

- U_2 = Kecepatan angin rerata (m/s)
- e_a = Tekanan uap rata-rata (kP_a)
- e_s = Tekanan uap jenuh (kP_a)
- T = Suhu rata-rata ($^{\circ}C$)
- G = Flux panas tanah (MJ/m^2 hari).

Data Debit

Data debit diperoleh dari stasiun AWLR yang terpasang pada outlet ke dua Sub DAS, yaitu: stasiun AWLR di Rawatamtu dan AWLR di Kloposawit. Periode rekaman data debit antara: 1991 sd 2000.

Format Data

Data-data tersebut diurutkan dalam dua kolom Excel (tanggal, data) dan disimpan ke dalam format comma delimited (*.csv). Data tersebut selanjutnya diimport ke dalam model. Dari file (*.csv) selanjutnya disimpan dalam format space-separated-file (*.prn). File (*.prn) dapat dibuka dengan wordpad dan selanjutnya disimpan dalam format text (*.dat). File (*.dat) inilah yang selanjutnya diimport ke dalam model.

Tahap pemodelan

Tahap penelitian mencakup: (1) visualisasi data, (2) kalibrasi model, dan (3) Validasi (verifikasi) model.

Tabel 3. Karakteristik Sub-DAS

Karakteristik	Sub-DAS	
	Rawatamtu	Klopo Sawit
Bentuk DAS	Triangle melebar	Triangle melebar
Luas (km^2)	698	706
Range ketinggian (d.p.l) m	(40 - 3218)	(150 - 3218)
luas wilayah di atas ketinggian > 1000 m	> 50%	> 50%
Bifurcation ratio	3,69	3,7

Sumber: hasil analisis

Visualisasi data

Visualisasi data digunakan untuk melihat kesesuaian antara data hujan dan data debit.

Pemilihan periode kalibrasi

Karena keterbatasan keseragaman data, maka untuk keperluan pemodelan digunakan rentang waktu antara 1990 sd 2000 (Tabel 4).

Selanjutnya, dari periode dimana terdapat data rentang-waktu (hujan, debit, evaporasi) dibagi menjadi dua periode: periode untuk kalibrasi dan periode untuk Validasi. Dalam hal ini, kalibrasi dilakukan pada periode pengukuran 1991 s/d 1994. Sedangkan validasi dilakukan dengan data dari tahun 1995 s/d 2000.

Kalibrasi dan validasi secara terpisah

Dalam penelitian ini, model terlebih dahulu di kalibrasi dan divalidasi (verifikasi) pada ke dua sub-DAS (Klopo Sawit dan Rawatamtu) secara terpisah.

a. Prosedur kalibrasi

Ada tiga metode kalibrasi yang disediakan paket Software RRL, yaitu: *generic*, *manual*, *custom*. Pada kasus ini dipilih metode kombinasi *Generic dan manual*.

b. Parameter dan kriteria

Optimalisasi nilai parameter dilakukan setelah hasil kalibrasi dan validasi diperoleh.

1. Nilai parameter kalibrasi dan validasi
Parameter-parameter yang terkait dengan model SMAR yaitu parameter C, Z, H, Y, T, Kg, G, n dan nK.

2. Kriteria Statistik yang Digunakan

Kriteria statistik yang digunakan adalah koefisien Nash dan koefisien korelasi. Koefisien Nash menunjukkan tingkat ketelitian dari korelasi hubungan antara data yang terukur dan terhitung. Kalibrasi yang baik akan menghasilkan nilai koefisien Nash mendekati 1. Nilai koefisien Nash dirumuskan (Podger, 2004), sebagai berikut:

Keterangan :

$$\text{Nash - Sutcliffe} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{si} - Q_{mi})^2}{\sum_{i=1}^N (\bar{Q} - Q_{mi})^2} \quad \dots (7)$$

Q_{si} = debit terhitung pada interval waktu i

Q_{mi} = debit terukur pada interval waktu i

\bar{Q} = debit terukur rerata untuk periode yang digunakan

i = interval waktu,

N = jumlah data dalam interval waktu tersebut.

Tabel 4. Data Masukan untuk Pemodelan

Jenis data	Rentang waktu
Hujan harian	1990 - 2000
Eto harian	1990 - 2000
Debit harian	1990 - 2000

Sumber: hasil analisis

Sedangkan koefisien korelasi menunjukkan keeratan hubungan data terukur (variabel X) dan data terhitung (variabel Y), sehingga dapat digunakan untuk menunjukkan adanya hubungan yang erat. Koefisien korelasi mempunyai range nilai antara 0 hingga 1, jika korelasinya tinggi nilainya akan mendekati 1. Nilai koefisien korelasi dirumuskan (Podger, 2004).

$$r = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{\{\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2\} \{n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2\}}} \dots (8)$$

Keterangan :

X_i = data terukur ke-i,

Y_i = data terhitung ke-i

b. Prosedur Validasi

Metode kalibrasi yang dilakukan mengacu pada *metode 1: The split sample test. Setting* nilai parameter yang dihasilkan selama periode kalibrasi, selanjutnya digunakan untuk verifikasi/validasi untuk periode: 1995 sd 2000.

c. Visualisasi Hasil

Ketepatan atau kesahihan model selama proses kalibrasi dan validasi dinilai dengan: koefisien Nash dan koefisien korelasi. Visualisasi hasil dilakukan dengan membandingkan grafik hasil perhitungan dan pengukuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Visualisasi Data

Analisa sederhana terhadap data hujan dan debit pada ke dua subDAS menunjukkan grafik yang sesuai. Secara umum hujan yang jatuh pada kedua sub-DAS diikuti dengan kenaikan debit sungai, secara konsisten selama periode rekaman data (Gambar 2).

Hasil Kalibrasi

Penerapan metode kalibrasi *Generic* dan metode optimasi *pattern search* pada di sub-DAS Rawatamtu menghasilkan koefisien Nash = 0.70 dan koefisien korelasi = 0.84. Metode optimasi lain tidak dapat menghasilkan nilai Nash & koefisien korelasi lebih baik. Selanjutnya kombinasi parameter hasil kalibrasi tersebut dioptimasi secara manual sampai diperoleh nilai koefisien Nash dan koefisien korelasi yang lebih baik, yaitu sebesar 0.73 dan 0.86.

Penggunaan metode yang sama untuk sub-DAS kloposawit, menghasilkan nilai koefisien Nash = 0.53 dan koefisien korelasi = 0,73. Perbandingan hasil kalibrasi diberikan pada tabel (5) dan gambar (3) sd (5).

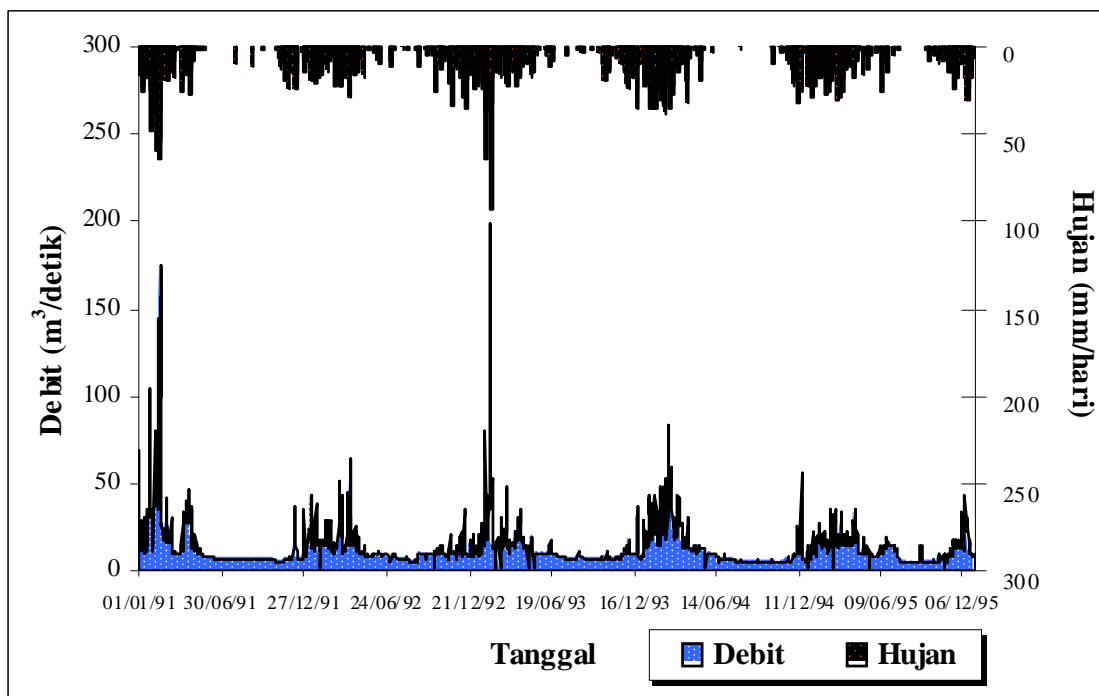
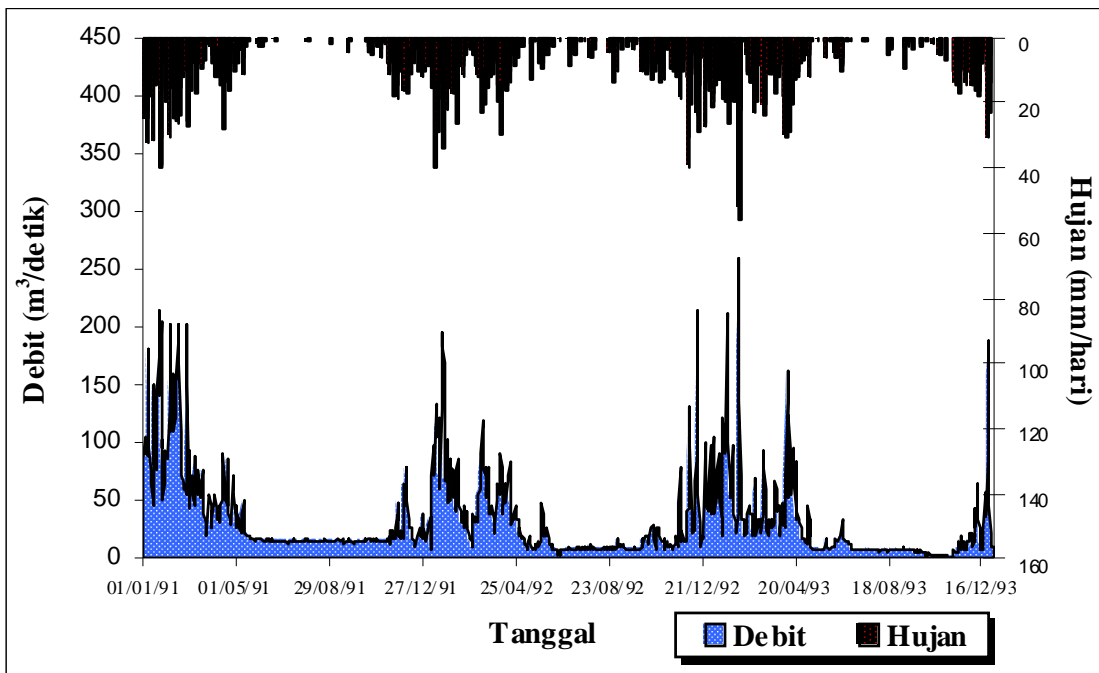
Gambar (3) sd (5) menunjukkan bahwa pada prinsipnya model dapat menirukan fluktuasi debit baik pada musim kemarau, periode banjir (musim hujan), maupun untuk jangka waktu tahunan.

Dalam hal ini, kalibrasi dilakukan untuk melihat performance model secara umum, bukan untuk memprediksi debit banjir, atau memperkirakan debit pada periode kering.

Pada gambar (6), untuk sub-DAS rawatamtu terlihat bahwa model memprediksi lebih tinggi debit musim kemarau, hal ini disebabkan pemakaian air untuk irigasi yang berlebihan pada periode tersebut. Data irigasi tidak diikuti dalam pemodelan, sehingga menyebabkan perhitungan debit lebih tinggi dari realitanya.

Nilai parameter model selama proses kalibrasi diberikan dalam Tabel 6.

Tabel (6) menunjukkan bahwa parameter (C, H,T,n,NK, dan G) relatif tidak terlalu



Sumber: hasil analisis

Gambar 2. Konsistensi Kenaikan Hujan yang Dikuti Kenaikan Debit Sungai Pad Sub-DAS Rawatamtu (Atas) dan Sub-DAS Bedadung (Bawah)

berbeda, sedangkan parameter (Z, Y, Kg) masih menunjukkan range yang lebar. Nilai parameter dari tabel 5, selanjutnya dapat dipertimbangkan untuk aplikasi model pada DAS-DAS di sekitarnya.

Hasil Validasi

Nilai parameter yang diperoleh pada tahap kalibrasi, selanjutnya digunakan untuk evaluasi model pada periode validasi (1995 sd 2000). Hasil validasi diberikan dalam tabel 6. Zoom hasil pemodelan selama periode validasi diberikan dalam gambar (6).

Nilai coefficient Nash sangat dipengaruhi oleh debit besar. Dalam hal ini model tidak dapat mereproduksi dengan baik debit besar, hal ini karena data yang tersedia juga kurang lengkap, sehingga proses pemodelan tidak optimal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Visualisasi grafis dan kriteria statistik yang dihasilkan menunjukkan bahwa secara umum model SMAR dapat mereproduksi proses hidrologi (hujan menjadi aliran) pada ke dua Sub-DAS. Ketepatan hasil pemodelan lebih ditentukan oleh ketersediaan dan kelengkapan data dan proses pemodelan dapat diperbaiki dengan menambah jumlah dan kualitas input data.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dinas PU pangairan Jawa Timur dan UPT PSAWS Sampean baru atas penyediaan data-data untuk penelitian ini dan kepada semua pihak yang telah membantu proses penelitian.

Tabel 5. Kriteria Statistik Hasil Kalibrasi

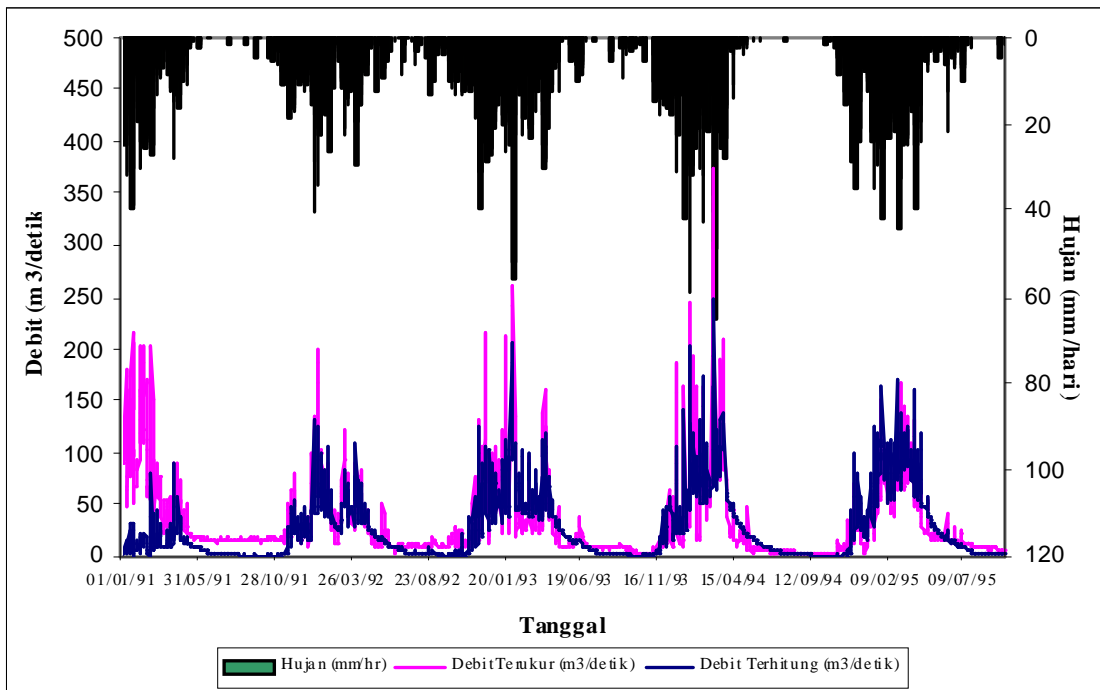
Kriteria	Rawatamtu	KlopoSawit
Nash-Sutcliffe	0.73	0.54
Koefisien Korelasi	0.86	0.73

Sumber: hasil analisis

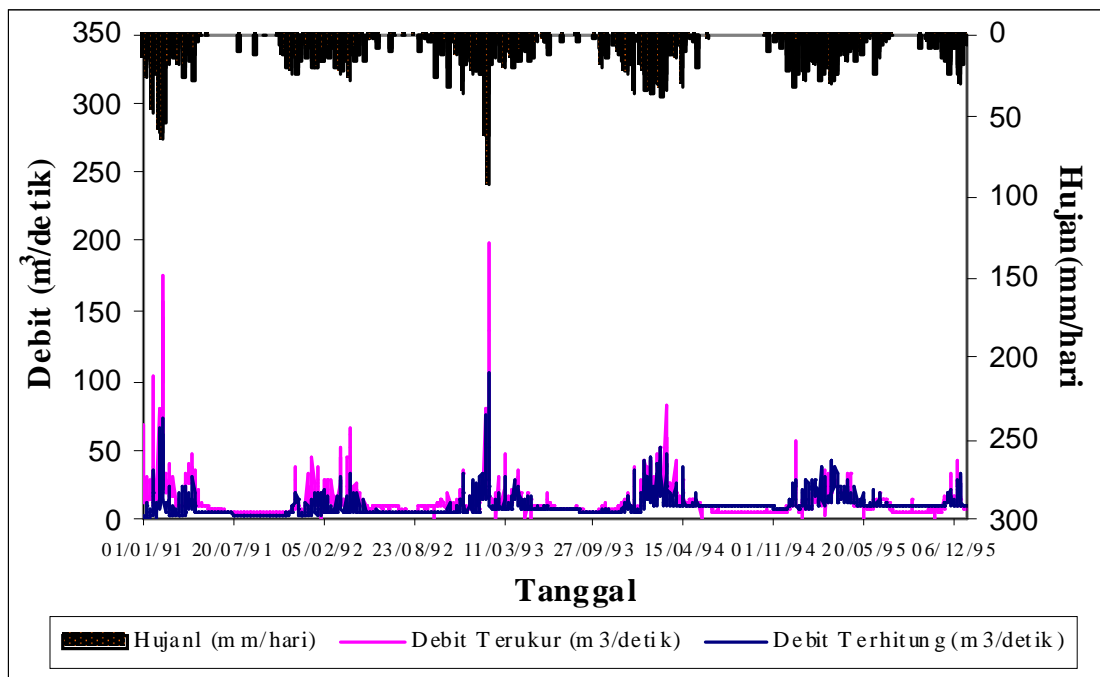
Tabel 6. Parameter Hasil Kalibrasi

Parameter	Sub-DAS Rawatamtu	Sub-DAS Kloposawit	Range Parameter
C	0,59	1	0 sd 1
Z	658	377	0 sd 5000
H	0,102	0,104	0 sd 1
Y	45	40	0 sd 5000
T	0,51	0,50	0 sd 1
Kg	0,025	0,001	0 sd 1
n	1,80	2,70	1 sd 6
Nk	0,24	1	0.01 sd 1
G	0,69	0,94	0 - 1

Sumber: hasil analisis



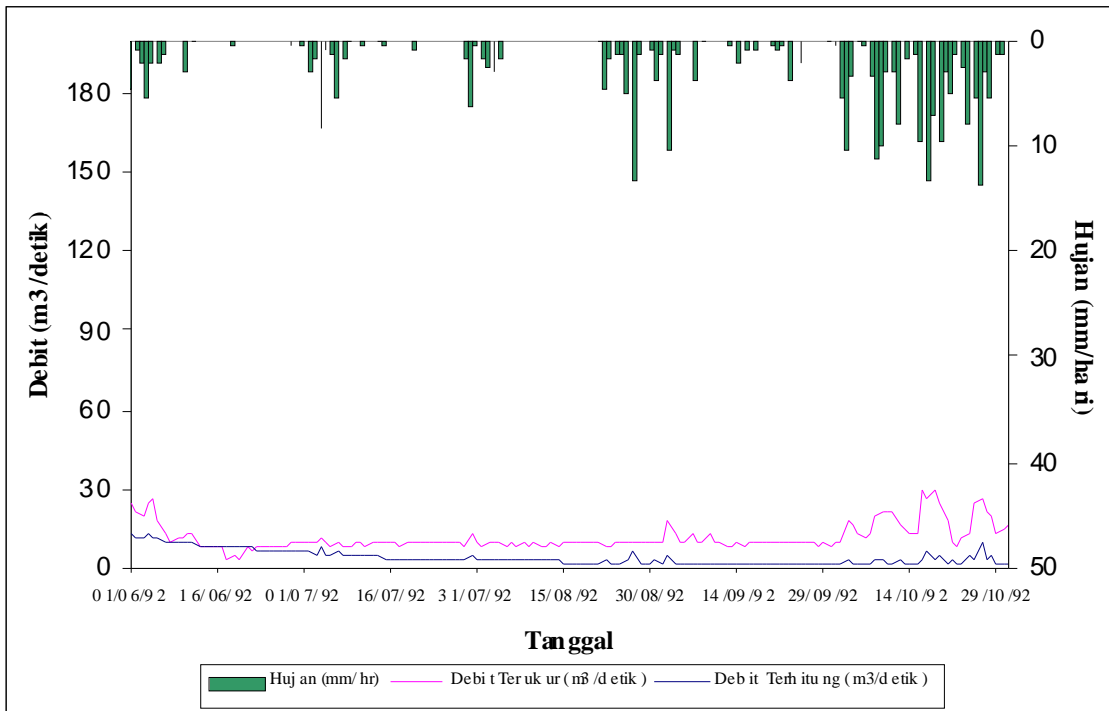
Sub-DAS Rawatamtu



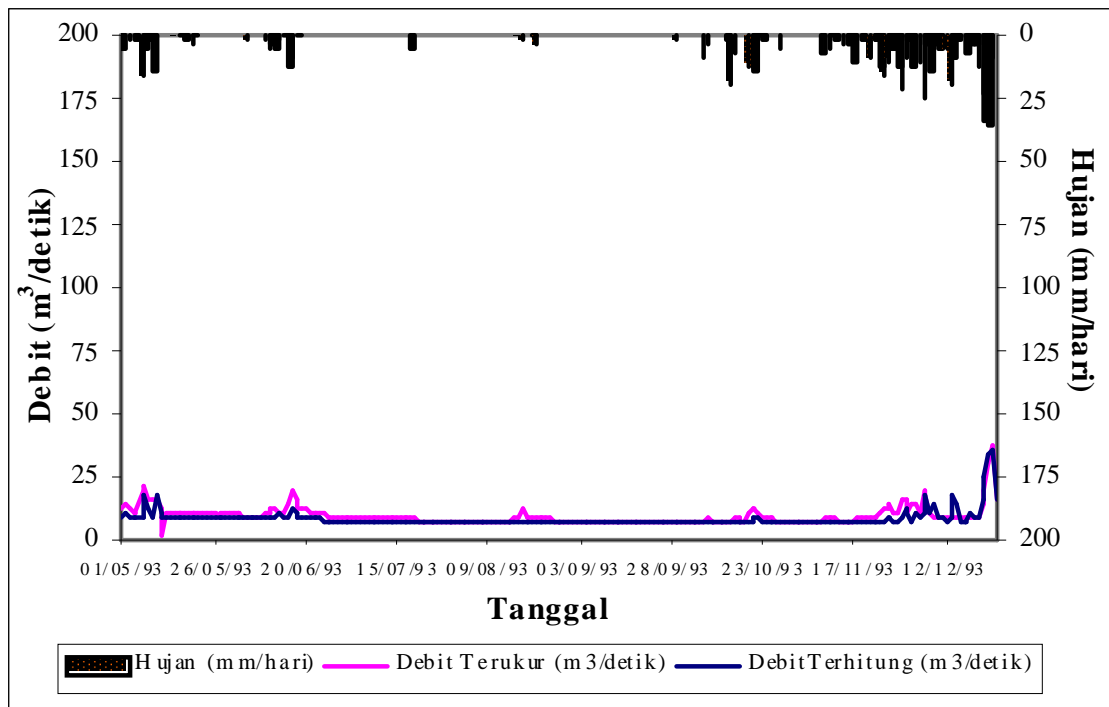
Sub-DAS Kloposawit

Sumber: hasil analisis

Gambar 3. Hasil Kalibrasi, Zoom untuk Periode Tahunan



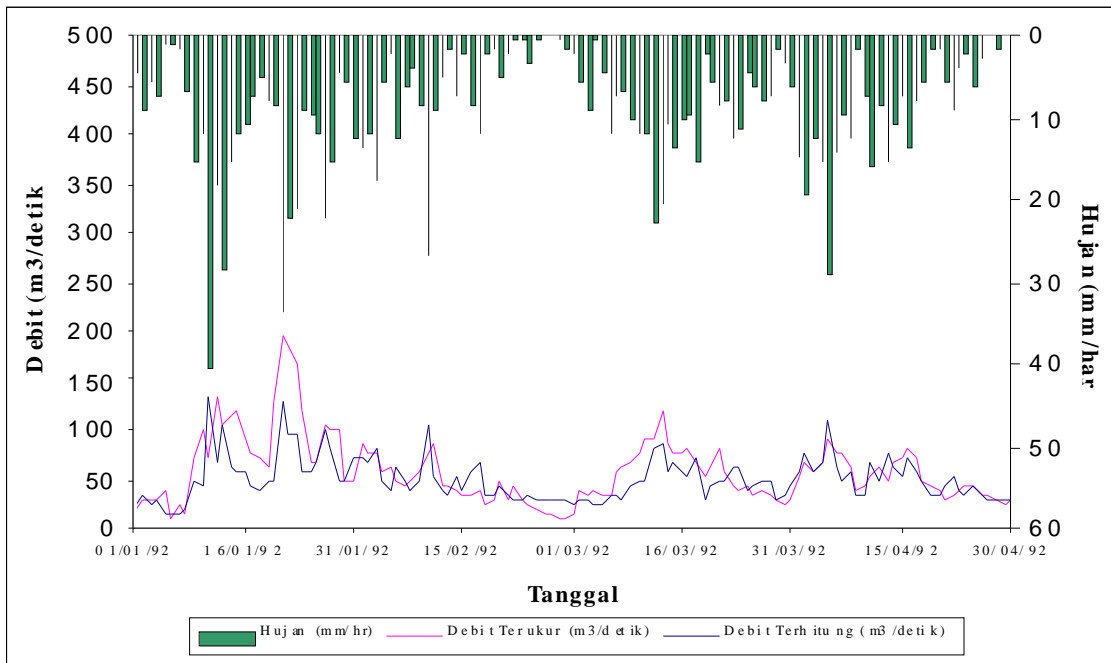
Sub-DAS Rawatamtu



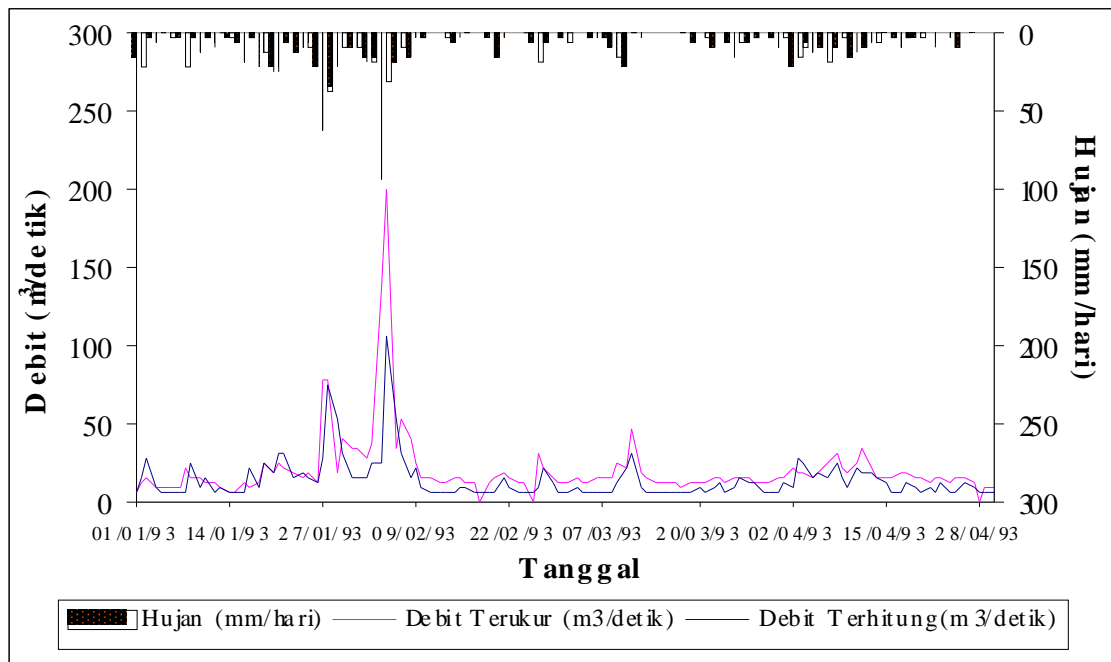
Sub-DAS Kloposawit

Sumber: hasil analisis

Gambar 4. Hasil Kalibrasi, Zoom untuk Periode Kering (Juni - Oktober)



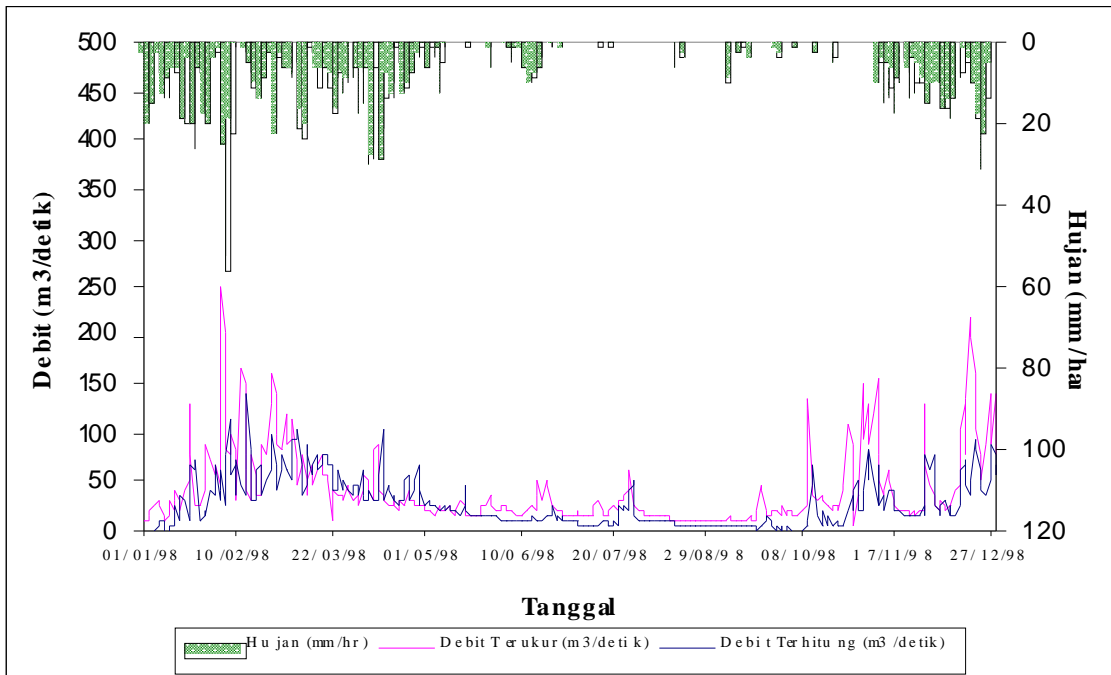
Sub-DAS Rawatamtu



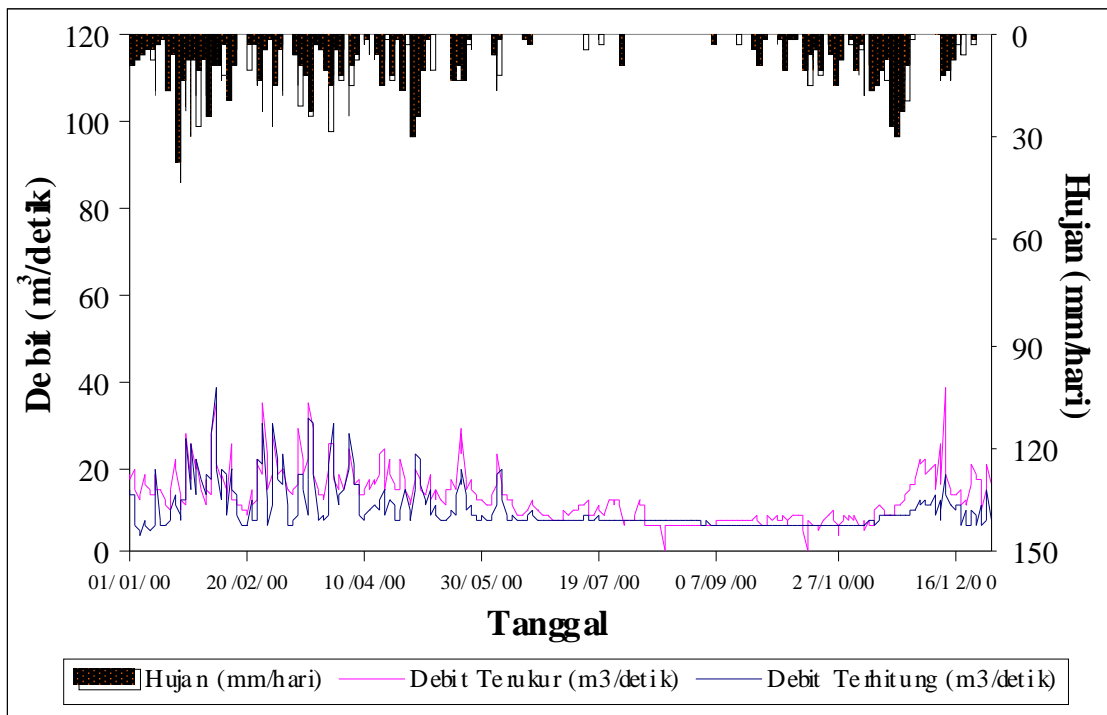
Sub-DAS Kloposawit

Sumber: hasil analisis

Gambar 5. Hasil Kalibrasi, Zoom untuk Periode Penghujan (Januari - April)



Sub-DAS Rawatamtu



Sub-DAS Kloposawit

Sumber: hasil analisis

Gambar 6. Hasil Validasi, Zoom untuk Periode Tahunan

DAFTAR PUSTAKA

- Indarto. (2011). Aplikasi Esda untuk Studi Variabilitas Spasial Hujan Bulanan di Jawa Timur. *Forum Geografi*. Vol. 25, No. 2, pp. 178 - 193.
- Kachroo R.K., and Liang. (1992). *River Flow Forecasting*. Part 5. Applications of Conceptual Model. *Journal of Hydrology*. 133, 141 – 178.
- Nash J.E. (1960). *A Unit Hydrograph Study with Particular reference to British Catchment*. Proceedings of the Institute of Civil Engineers, 17, 249 – 282.
- O'Connell, P.E., Nash, J.E and Farrel, J.P. (1970). *Riverflow Forecasting through Conceptual Models, part2*. The Brosna Catchment at Ferbane. *Journal of Hydrology*. 10 : 317 – 329.
- Podger, G. (2004). *Rainfall RunOff Library Versi 1.05 User Guide*. Department of Infrastructure, Planning and Natural Resources; CRC for Catchment Hydrology.
- Tuteja, N.K. and O'Connor, C. (1999). *A Quasi Physical Snowmelt Run-off Modelling System for Small Catchment*. *Hydrological Processes*. 13 (12/13): 1961 – 1975.
- Todini, E. (1998). *Rainfall RunOff Modelling Post, Present and Future* *Journal of Hydrology*. 100, 141-352.