

KALIBRASI MODEL IHACRES PADA DUA DAS IDENTIK

Calibration Of IHACRES On Two Similar Catchments

Indarto¹⁾, Idah Adriyani²⁾, Elida Novita²⁾

¹⁾PUSLIT PSDA – LEMLIT – UNEJ, Jl. Kalimantan no. 37 Kampus Tegalboto, Jember, 68121

²⁾Lab. Teknik Konservasi dan Pengendalian Lingkungan, FTP, UNEJ

E-mail : pps@lemlit.unej.ac.id

ABSTRACT

IHACRES has been applied on two sub-catchments (Kloposawit and Rawatmatu). These two sub-catchment are geographically located at the same climatic regions and having physical characteristic that relatively similar. A series of calibration and validation procedures have been conducted on these two similar sub-catchment to show how the the model response to the “parameter setting” that reltifely identic. Firstly, the model is calibrated on each sub-catchment independently. A validation process on each sub-catchment is also conducted using different time-series bound. These processes produce a set of “optimal parameter value” for each sub-catchment. Furthermore, optimal setting of parameter values of the first sub-cathments is validated on the second and vice versa. Finally, two seting of parameter value are compared. The result show that calibration and validation of IHACRES on both sub-catchment are successfully conducted by means of setting parameter value that relatively identic.

Keyword : *IHACRES, daily water balance, calibration, similar catchments*

PENDAHULUAN

Model pada prinsipnya adalah penyederhanaan dari apa yang terjadi di alam. Salah satu model hidrologi yang banyak dipakai diberbagai belahan dunia adalah IHACRES. Penelitian ini bertujuan mempelajari aplikasi IHACRES untuk memodelkan proses hidrologi pada dua DAS yang relatif identik. Proses hidrologi yang diamati adalah siklus hidrologi harian.

1. Ihacres

a. *Historis*

IHACRES (*Identification of Unit Hydrograph And Component flows from Rainfall, Evaporation and Stream flow data*), merupakan buah kerjasama antara Institute Hidrology (**IH**) di Inggris dan *the Centre for Resourse and Environmental Studies (CRES) di Australian National University (ANU)*, Canberra. Hasil kerjasama tersebut kemudian diwujudkan dalam bentuk PC-IHACRES, suatu paket program untuk memodelkan proses hidrologi.

Model ini tergolong model hujan–aliran, input utama adalah data hujan, data debit dan data suhu untuk menghitung nilai evapotranspirasi. Selanjutnya model akan memprediksi atau menghitung debit yang keluar dari DAS. Versi IHACRES yang digunakan pada penelitian ini tergolong model global (*Lumped model*). Pada model global, DAS dianggap sebagai kotak hitam (*black-box*) dimana output dari *black-box* merupakan fungsi inputnya. Variabilitas

spasial di dalam DAS diasumsikan seragam. Model ini telah banyak dipakai di banyak penjuru dunia dan telah dijadikan sebagai salah satu literatur ilmiah yang banyak digunakan (Littlewood et al, 1997a,b).

Di Cina model ini digunakan cukup berhasil dengan luas DAS sekitar 490 m². Di Inggris, di tempat kelahirannya, model ini telah ditest dengan luas DAS yang cukup bervariasi sampai 10.000 km²(Littlewood et al., 1997a). Aplikasi IHACRES dapat dijumpai di dalam tulisan (Jakeman and Hornberger, 1993; Jakeman et al., 1990; Ye et al., 1997; Dye and Croke, 2003; Croke and Jakeman, 2004). Model ini juga terus dikembangkan dengan berbagai penyempurnaan dan penambahan modul (Croke et al., 2005). Penelitian ini menggunakan IHACRES Versi 2.1.

b. *Manfaat IHACRES*

Secara umum, model ini dibuat untuk membantu para ahli hidrologi atau insinyur di bidang sumberdaya air untuk mengetahui karakteristik hubungan dinamis antara curah hujan dengan debit pada suatu DAS. Beberapa bentuk aplikasi IHACRES antara lain:

- Identifikasi hidrograf satuan (unit hydrograph),
- Simulasi debit sungai secara kontinyu,
- Mempelajari dampak perubahan lingkungan,
- Memodelkan aliran permukaan,
- Pemisahan hidrograf (misalnya: untuk membantu dalam penelitian kualitas air),
- Menentukan *Slow Flow Index (SFI)*.

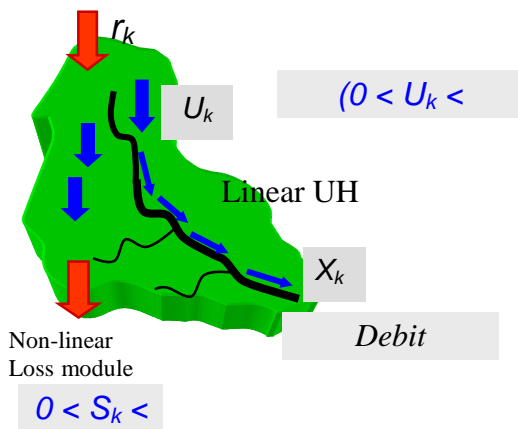
- Menentukan *Dynamic Response Characteristics (DRCs)*,
- Mempelajari teori hidrograf satuan dan aplikasinya,
- Pengontrolan kualitas data hidrometri,
- Prediksi data debit yang hilang.

c. Input Data

Model IHACRES relatif sederhana, karena hanya membutuhkan data-data sbb:

- Data debit
- Data curah hujan
- Data temperatur
- Luas DAS

Pada prinsipnya, model ini bisa diterapkan dengan interval data rentang waktu dari: menit, jam, harian s/d bulanan (Littlewood et al, 1997a).



d. Deskripsi Proses Hidrologi

Proses hidrologi menurut konsep IHACRES disederhanakan sebagai berikut (Gambar 1):

Gambar 1. Proses hidrologi menurut IHACRES

Siklus hidrologi dibedakan menjadi dua. Sub-proses vertikal yang digambarkan oleh *Non-linear loss-module* dan sub-proses lateral yang diimplementasikan melalui *Linear unit hydrograph module*. *Non-linear loss module* berfungsi untuk mengkonversi hujan menjadi hujan efektif. Modul ini bekerja seperti persamaan infiltrasi. Masukan utama modul ini adalah hujan (r_k) dan data suhu (t_k). Data suhu digunakan untuk menghitung evaporasi di dalam DAS. Selanjutnya, hujan efektif (U_k) yang dihasilkan dari *Non-linear loss module*, ditransfer secara lateral melalui *linear unit hydrograph module* menjadi aliran permukaan (*RunOff*) (X_k) berupa debit terhitung di outlet DAS.

e. Non-linear loss module

Proses perubahan hujan menjadi aliran permukaan pada skala DAS diasumsikan bersifat non-linear, sehingga digunakan konsep *Non-linear loss module*.

Kinerja *non-linear loss module* ditentukan oleh kondisi DAS atau kadar air pada permukaan tanah. Kondisi ini dimodelkan melalui konsep *Catchment Wetness Index (CWI)*. Nilai *CWI* menunjukkan tingkat kejenuhan suatu DAS setelah terjadi hujan dan menggambarkan laju pengurangan air karena proses evaporasi.

Pada prinsipnya, nilai *CWI* atau (s_k) berubah sebagai fungsi kondisi alam (cadangan air di dalam lapisan tanah). Nilai ini berkisar antara ($0 < s_k < 1$). Sehingga, prosentase hujan menjadi hujan efektif adalah 0% sampai 100%. Hubungan tersebut ditulis sebagai berikut:

$$U_k = r_k s_k \tag{1}$$

Dimana :

- u_k = hujan efektif
- r_k = hujan
- s_k = *catchment wetness index (CWI)* ($0 < s_k < 1$)

Dalam hal ini, hujan efektif ditentukan oleh besarnya hujan yang jatuh ke dalam DAS dan nilai s_k . Semakin besar nilai s_k , maka semakin besar peluang hujan untuk menjadi hujan efektif. Artinya, pada kondisi DAS yang relatif sudah basah (jenuh) atau nilai s_k tinggi, air akan sulit masuk ke dalam tanah. Proses infiltrasi menjadi lambat, sehingga hujan yang dikonversi menjadi aliran permukaan semakin besar. Demikian pula sebaliknya, jika nilai s_k rendah, maka hujan efektif yang terjadi relatif sedikit, karena air yang masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi relatif besar.

Selanjutnya, ada tiga parameter yang mempengaruhi nilai s_k , yaitu: τ_w , f dan t_{ref} . Dalam hal ini, *drying-rate at reference temperature* (τ_w) menunjukkan jumlah hari kering selama periode tertentu. Semakin banyak jumlah hari kering, maka hujan efektif akan semakin kecil karena air akan banyak terserap ke dalam tanah. Disamping itu selama periode kering tersebut, tentunya air akan banyak yang hilang karena penguapan sehingga memperkecil nilai s_k . Hal ini digambarkan oleh persamaan berikut:

$$s_k = Cr_k + \left(1 - \frac{1}{\tau_w(\tau_k)}\right) s_{k-1} \quad s_0 = 0 \tag{2}$$

$$\tau_w(t_k) = \tau_w e^{0.062 f (R - t_k)} \tag{3}$$

$$\tau_w(t_k) > 1$$

dengan

$C = \text{volume-forcing constant}$

$\tau_w = \text{drying-rate at reference temperature}$

$f = \text{temperature dependence of drying rate}$

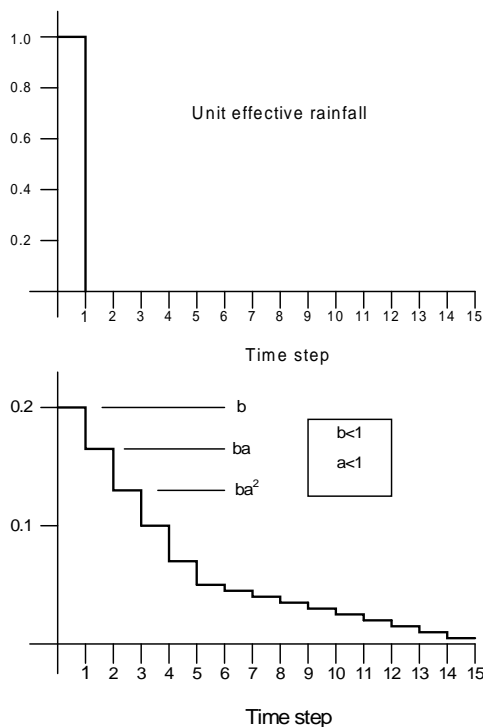
$t_k = \text{reference temperature}$

Dalam hal ini, *catchment-drying-time constant*, *temperature modulation factor*, *volume-forcing constant* dikenal sebagai *Dinamic Response Charactersitic (DRC)*. Nilai DRC umumnya spesifik untuk setiap DAS. Besar kecilnya nilai DRC dipengaruhi oleh karakteristik DAS.

Sehingga DRC bisa digunakan sebagai penciri atau pembeda antara satu DAS dengan DAS lainnya. Selanjutnya, nilai C ditentukan selama periode kalibrasi, dengan menjaga volume hujan efektif dan volume debit yang relatif sama besarnya.

Linear unit hidrograph module

Melalui *linear unit hidrograph module* (Gambar 2) hujan efektif dikonversi menjadi aliran permukaan.



Gambar 2. Konsep Linear Unit hidrograph modul

Periode dimana hujan tidak lagi jatuh ke dalam DAS disebut sebagai periode kering. Pada kondisi ini, aliran (debit) di sungai tetap ada, debit tersebut

berasal dari aliran bawah permukaan yang dikenal sebagai *baseflow*.

Pada periode kering, umumnya *baseflow* relatif konstan, sehingga bisa diasumsikan tidak ada penambahan volume air yang masuk ke dalam DAS. Jika (b) menunjukkan nilai debit awal sebelum terjadi perubahan, maka kondisi debit pada periode kering adalah ($b < 1$).

Pada periode dimana terdapat kejadian hujan, maka ada penambahan debit yang berasal dari aliran permukaan yang masuk ke sungai dan aliran bawah permukaan. Jika (a) melambangkan kondisi debit setelah terjadi perubahan. Maka penambahan debit sungai sebagai akibat hujan besarnya adalah $a < 1$. Proses tersebut berlangsung secara berulang-ulang, kontinyu dan tak terbatas.

Sehingga dapat ditulis persamaan ($b + ab + a^2b + a^3b + \dots$) dengan asumsi bahwa antara a dan b merupakan satu kesatuan proses. Dengan ketentuan nilai $0 < a < 1$, maka penjumlahan deret merujuk $b/(1-a)$, sehingga menjadi persamaan seperti berikut ini.

$$b(1 + a + a^2 + a^3 + \dots) = \frac{b}{1 - a} \quad (4)$$

$$b = 1 - a \quad (5)$$

dimana:

$b = \text{debit awal sebelum terjadi penambahan air}$

$a = \text{debit setelah terjadi penambahan air.}$

Untuk memperkirakan besarnya debit ($\dots, x_{k-2}, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, x_{k+2}, \dots$), kita dapat memasukkan nilai dari hujan efektif ($\dots, u_{k-2}, u_{k-1}, u_k, u_{k+1}, u_{k+2}, \dots$) kedalam persamaan berikut:

$$x_k = ax_{k-1} + bu_k \quad (6)$$

Dalam kasus ini, nilai eksponensial untuk *two simple UH* adalah *quick (q)* dan *slow (s)* dan jumlah *UH* dapat menghasilkan debit total yang mempunyai 3 parameter yaitu ($a^{(q)}$), ($b^{(q)}$) dan ($a^{(s)}$ dan $b^{(s)}$).

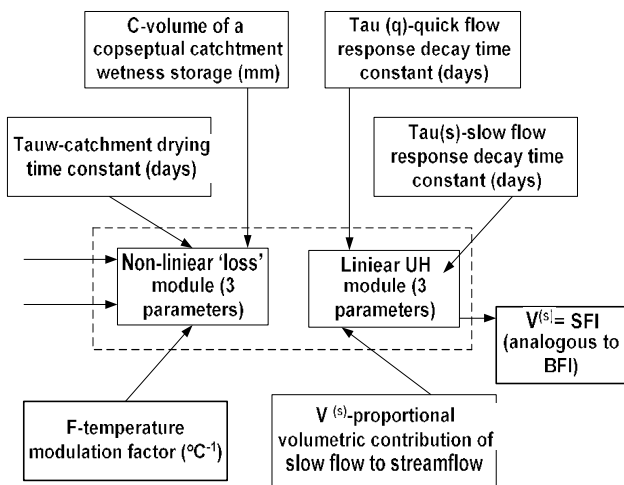
$$\frac{b^q}{1 - a^q} + \frac{b^s}{1 - a^s} = 1 \quad (7)$$

Perkiraan dari debit *quick* dan *slow* dapat ditunjukkan oleh persamaan (8) dan (9). Perkiraan debit total ditunjukkan pada persamaan (10).

$$x_k^{(q)} = a^{(q)}x_{k-1}^{(q)} + b^{(q)}u_k \quad (8)$$

$$x_k^{(s)} = a^{(s)}x_{k-1}^{(s)} + b^{(s)}u_k \quad (9)$$

$$x_k = x_k^{(q)} + x_k^{(s)} \quad (10)$$



Gambar 3. Parameter IHACRES

Sehingga dari penjelasan diatas dapat diketahui bahwa terdapat enam parameter dalam konsep IHACRES, yakni masing-masing tiga parameter untuk *non-linear loss module* dan *linear unit hydrograph module* (Littlewood et al., 1997).

2. Kalibrasi

Kalibrasi (*calibration* atau *calage*) terhadap satu model adalah proses pemilihan kombinasi parameter. Dengan kata lain, proses optimalisasi nilai parameter untuk meningkatkan koherensi antara respon hidrologi DAS yang teramati dan tersimulasi (Bloschl and Grayson, 2000). Koherensi ini (ketepatan antara yang terukur dan terhitung) dapat diamati secara kualitatif, misalnya dengan membandingkan hidrograf debit terukur dan terhitung. Umumnya koherensi ini dinilai secara kuantitatif (Refsgaard, 2000).

Pada prinsipnya kebanyakan model yang dibuat mampu memberikan respon yang baik sesuai dengan harapan pembuat model. Masalahnya adalah sejauh mana model yang kita gunakan mampu merepresentasikan keadaan yang sebenarnya di alam. Dengan kata lain, yang kita harapkan dari suatu model adalah hasil yang baik untuk alasan yang tepat (Klêmes, 1986).

Sistem fisik (dalam hal ini DAS) digambarkan oleh variasi, *input*, *output* dan kondisi internal. Kondisi internal pada prinsipnya menggambarkan kompleksitas proses yang terjadi di dalam sistem DAS tersebut. Secara umum, perilaku sistem diketahui melalui pengukuran beberapa karakteristik penciri sistem tersebut (misalnya: hujan, suhu, debit, peruntukan lahan, sifat tanah, dll...) (Fleeming, 1975).

Dalam konteks DAS maka, lazimnya pengukuran hanya dilakukan pada beberapa lokasi, karena berbagai keterbatasan antara lain:

- Tidak mungkin kita melakukan pengukuran terhadap semua variabel (baik variabel tetap maupun variabel yang berubah sebagai fungsi ruang dan waktu).
- Kesalahan selama proses pengukuran mungkin sekali terjadi, sehingga antara data yang diperoleh di lapangan dengan yang dimasukkan ke dalam model mengandung unsur ketidakpastian.

Pada prinsipnya, model hidrologi digunakan untuk melakukan simulasi perilaku sistem fisik tersebut, dengan menggunakan masukan data yang terukur dan didapatkan output model yang semirip mungkin dengan output sistem fisik yang ditiru tersebut. Hal ini dilakukan dengan meminimiliasi tingkat kesalahan yang mungkin terjadi melalui uji coba beberapa nilai parameter sampai diperoleh tingkat ketidakpastian yang minimal antara data terukur dan termodelkan (Refsgaard, 2000).

3. Validasi

Validasi adalah proses evaluasi terhadap model untuk mendapatkan gambaran tentang tingkat ketidakpastian dalam memprediksi proses hidrologi. Umumnya validasi dilakukan dengan menggunakan data di luar periode yang digunakan untuk kalibrasi. Suatu fungsi objektif biasanya digunakan untuk mengukur secara kuantitatif tingkat kesalahan antara yang terhitung dan terukur. Minimalisasi nilai fungsi objektif dilakukan dengan optimalisasi nilai parameter. Pemilihan fungsi objektif mana yang digunakan, akan menentukan bagian mana dari suatu model yang akan di tes (Refsgaard, 2000).

Menurut Klêmes (1986) dan Refsgaard (2000) ada beberapa prosedur kalibrasi dan validasi model. Keempat jenis kalibrasi di bawah ini dapat diaplikasikan untuk situasi yang berbeda, tergantung pada ketersediaan data.

1. *Metode 1: The split sample test*, adalah metode klasik, diterapkan pada kasus dimana data untuk kalibrasi tersedia cukup lengkap dan karakteristik fisik DAS bisa dianggap relatif tidak berubah. Pada kasus ini, periode dimana data tersedia dibagi menjadi dua bagian: bagian pertama untuk kalibrasi dan bagian kedua untuk validasi.
2. *Metode 2: The proxy-basin test*, adalah suatu seri evaluasi untuk DAS-DAS yang identik. Hal ini diterapkan pada kasus dimana data tidak tersedia pada DAS yang dimaksud (yang akan dikalibrasi). Misalnya, jika model akan digunakan untuk kalibrasi pada DAS Z, maka digunakan data dari dua DAS (X dan Y) yang terletak di dalam wilayah (region) yang sama. Model dikalibrasi dulu di DAS X dan divalidasi

di DAS Y. Prosedur selanjutnya dibalik dari Y ke X. Jika dalam ke dua prosedur tersebut, hasil validasi cukup memuaskan dan identik, maka model dapat dianggap cukup baik untuk diterapkan di DAS Z yang tidak ada datanya.

3. *Metode 3: The differential split-sample test*, adalah suatu *test differensial* pada suatu DAS. Metode ini diterapkan jika model akan digunakan untuk simulasi: fluk, kadar lengas tanah atau variabel lain pada suatu DAS, tetapi pada kondisi iklim yang berbeda dengan data yang tersedia. Misalnya, jika model akan digunakan untuk simulasi debit pada periode humid (musim hujan atau periode basah), maka model harus dikalibrasi terlebih dahulu untuk periode kering dengan data historis yang tersedia dan harus divalidasi untuk periode basah. Prosedur yang sama dapat dilakukan untuk variabel lain, misalnya: kadar lengas tanah, evapotranspirasi, dll.
4. *Metode 4: The proxy-basin differential split-sample*, merupakan prosedur kalibrasi yang cukup sulit untuk dilaksanakan. Dalam kasus ini, data tidak tersedia untuk kalibrasi dan karakteristik iklim tidak konstan. Misalnya, peramalan proses hidrologi untuk periode yang akan datang dengan skenario perubahan iklim pada suatu DAS dimana data tidak tersedia untuk kalibrasi. Dalam kasus ini, test atau kalibrasi dapat dilakukan dengan menggunakan dua kombinasi prosedur kalibrasi 2 dan 3.

Selama ini kita menganggap bahwa validasi merupakan ukuran untuk menilai tingkat realibilitas suatu model. Tetapi baik tidaknya hasil pemodelan tergantung pada metode kalibrasi dan validasi yang digunakan oleh karena itu evolusi dan pembaharuan cara atau metode kalibrasi dan validasi perlu untuk selalu dikembangkan (Floyd, 1987).

4. Kriteria stastistik

Suatu kriteria biasanya digunakan untuk menilai keandalan suatu model setelah proses kalibrasi dan validasi. Secara visual keandalan tersebut diamati dengan melihat koherensi (*kemiripan*) antara *output* terukur (*yang pada prinsipnya mewakili alam*) dan *output* terhitung (*yang mewakili hasil simulasi oleh model*). Koherensi, misalnya, dapat dilihat dari kemiripan antara debit terukur dan terhitung atau *scatter plot* antara debit terukur dan terhitung. Dalam hal ini, koefisien korelasi yang tinggi menunjukkan koherensi yang lebih baik.

Secara kuantitatif, keandalan model dalam mereproduksi kejadian alam (proses hidrologi) dinilai secara statistik dengan berbagai tolok ukur.

Umumnya kriteria penilaian antara satu model dan lainnya berbeda. Beberapa kriteria yang digunakan oleh IHACRES (Croke et al., 2004) meliputi:

1. Bias

Bias menunjukkan tingkat kesalahan volume aliran secara umum (sisa model), yakni selisih antara debit terukur dan terhitung pertahun.

$$\frac{\sum(Q_o - Q_M)}{n} \quad (11)$$

2. Relatif bias

Relatif bias menggambarkan selisih dari perbedaan debit terukur dan terhitung dibandingkan dengan nilai debit terukur.

$$\frac{\sum(Q_o - Q_M)}{\sum Q_o} \quad (12)$$

3. R Squared

R Squared menunjukkan tingkat kesesuaian antara debit terukur dan terhitung.

$$1 - \frac{\sum(Q_o - Q_M)^2}{\sum(Q_o - \bar{Q}_M)^2} \quad (13)$$

4. R² sqrt

R² sqrt menunjukkan variasi R² yang berlangsung pada debit puncak

$$1 - \frac{\sum(\sqrt{Q_o} - \sqrt{Q_M})^2}{\sum(\sqrt{Q_o} - \sqrt{\bar{Q}_o})^2} \quad (14)$$

5. R² log

R² log merupakan variasi R² yang terjadi untuk semua debit.

$$1 - \frac{\sum(\ln(Q_o + \epsilon) - \ln(Q_M + \epsilon))^2}{\sum(\ln(Q_o + \epsilon) - \ln(\bar{Q}_o + \epsilon))^2} \quad (15)$$

6. R² inv

R² inv menunjukkan variasi R² pada periode debit kecil.

$$1 - \frac{\sum\left[\frac{1}{Q_o + \epsilon} - \frac{1}{Q_M + \epsilon}\right]^2}{\sum\left[\frac{1}{Q_o + \epsilon} - \frac{1}{\bar{Q}_o + \epsilon}\right]^2} \quad (16)$$

dengan

Q_o = debit terukur ;

- $\frac{Q_M}{n}$ = debit terhitung ; $n = \text{jumlah sampel}$.
- $\frac{Q_o}{n}$ = rerata debit terukur ;
- $\frac{Q_M}{n}$ = rerata debit terhitung dan
- ϵ = tingkat kesalahan.

5. Tujuan penelitian

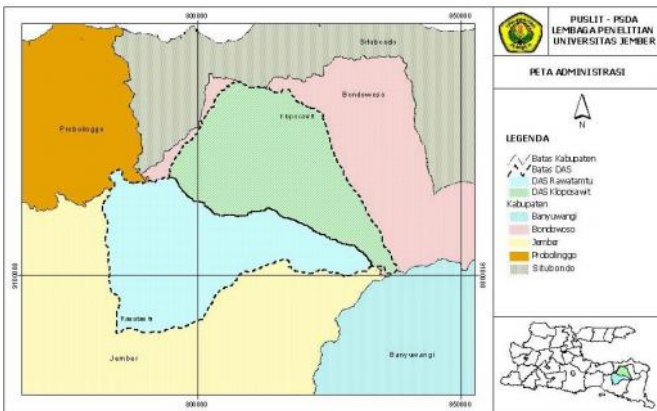
Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan nilai parameter model IHACRES pada dua DAS yang berdekatan dan relative identik ,
2. Menguji apakah setting nilai parameter yang relatif identik bisa diterapkan pada dua sub-Das yang karakteristik fisiknya juga relatif identik.

METODE PENELITIAN

1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di sub-DAS Kelopo Sawit (Kabupaten Bondowoso) dan di sub-DAS Rawatamtu (Kabupaten Jember) (Gambar 4).



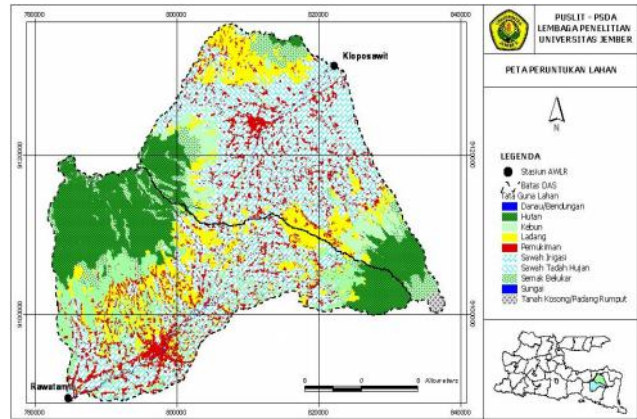
Gambar 4. Lokasi penelitian

Sub-DAS Rawatamtu merupakan bagian dari DAS Bedadung. Wilayah sub-DAS ini mulai dari stasiun AWLR Rawatamtu ke arah hulu sampai meliputi seluruh wilayah hulu DAS Bedadung. Sedangkan, sub-DAS Kelopo Sawit merupakan bagian dari DAS Sampean. Wilayah sub-DAS secara hidrologi mulai dari stasiun AWLR Kelopo Sawit sampai seluruh wilayah hulu DAS Sampean. Secara geografis lokasi sub-DAS Rawatamtu terletak pada: 7°58'8" - 8°13'52" Lintang Selatan dan 113°35'-114°1'17" Bujur Timur. Secara administratif meliputi wilayah Kabupaten Jember (92%) dan Kabupaten Bondowoso (8%) dengan luas total sub-DAS sekitar 698 km². Sedangkan, sub-DAS Klop Sawit terletak pada 7°48'11" - 8°6'59" Lintang Selatan dan 113°40'9" – 114°3'39" Bujur Timur yang meliputi sebagian besar

Kabupaten Bondowoso (94%) dan sebagian kecil Kabupaten Jember (6%), dengan luas total DAS Klop Sawit 706 km².

2. Karakteristik peruntukan lahan

Tata guna lahan kedua sub-DAS didominasi oleh: persawahan (Irigasi, tadah hujan), perkebunan, ladang, pemukiman, hutan dan lainnya (Gambar 5).



Gambar 5. Peruntukan lahan sub-DAS Bedadung dan Klop Sawit

Prosentase luas masing-masing peruntukan lahan pada kedua sub-DAS disajikan dalam Tabel.1. Terlihat bahwa, prosentase hutan di Sub-DAS Rawatamtu tinggal 21.3% dan di Sub-DAS Klop Sawit hanya = 10,7%.

Tabel 1. Prosentase peruntukan Lahan

No	Peruntukan lahan	Luas (%)	
		Rawatamtu	Kloposawit
1	Hutan	21.3	10.8
2	Kebun	16.2	9.0
3	Ladang	9.2	9.8
4	Pemukiman	9.3	10.4
5	Sawah Irigasi	26.2	35.6
6	Sawah Tadap Hujan	5.0	8.1
7	Semak Belukar	4.3	8.3
8	Sungai	0.3	0.14
9	Tanah Kosong	0.1	0.28

Karakteristik fisik sub-DAS selengkapanya diberikan di dalam lampiran. Hasil analisa terhadap karakteristik fisik (topografi, peruntukan lahan dan tanah) menunjukkan adanya kemiripan karakteristik antara kedua sub-DAS.

3. Pemilihan periode kalibrasi

Karena keterbatasan keseragaman data, maka untuk keperluan pemodelan digunakan rentang waktu antara 1990 sd 2000 (Tabel 2).

Tabel 2. Data masukan untuk pemodelan

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

Selanjutnya, dari periode dimana terdapat data rentang-waktu (hujan, debit, temperatur) dibagi menjadi dua periode: periode untuk kalibrasi dan periode untuk Validasi. Dalam hal ini, kalibrasi dilakukan pada periode pengukuran 1990 s/d 1994. Sedangkan validasi dilakukan dengan data dari tahun 1995 s/d 2000.

4. Kalibrasi dan validasi pada dua DAS terpisah

Dalam penelitian ini, model terlebih dahulu di kalibrasi dan di validasi pada dua DAS (Klopo Sawit dan Rawatamtu) secara terpisah. Kedua DAS dipilih karena datanya paling lengkap. Kalibrasi dilakukan dengan metode *trial and error* dan validasi dengan metode *Simple – Sample Test* dan *Different Split – Sample Test*. Sebagai indikator hasil kalibrasi dan validasi bagus atau tidak digunakan kriteria statistik R Squared dan bias. Apabila hasilnya bagus (R Squared 0.7 dan bias kecil) maka dilanjutkan dengan validasi sedangkan apabila hasilnya belum bagus (R Squared 0.7 dan bias besar) perlu dilakukan penentuan *range* parameter lagi. Hal ini dilakukan untuk mempermudah proses kalibrasi sehingga didapatkan *range* parameter yang paling optimal.

a. Prosedur kalibrasi

Metode kalibrasi yang dipilih adalah metode kombinasi. Optimasi nilai parameter secara numeris, dan pemilihan periode kalibrasi secara manual. Kalibrasi dilakukan terhadap 3 parameter utama IHACRES, yaitu: τ_w , f dan t_{ref} . Pemilihan periode kalibrasi disesuaikan dengan kalender hidrologis, diawali dan diakhiri pada keadaan debit di sungai relatif kecil.

Littlewood et al.,(1997) menyatakan sebagai berikut: "It is important, therefore, that model calibration periods are selected by operator to start and finish at time of low flow (e.g., at a

suitable time near the end of the regional water-year if modeling with daily data) such that the net change in catchments storage of water over the calibration period can reasonably be assumed to be close to zero"

Proses kalibrasi dilakukan bertahap, sebagai berikut:

1. Pemilihan periode warm-up

Warm-up periode bertujuan mengisi kondisi awal DAS. Simulasi yang sebenarnya dilakukan setelah periode warm-up dengan asumsi kondisi initial di model sudah mendekati kondisi initial di Alam.

2. Kalibrasi pada periode kering

Kalibrasi ini bertujuan untuk mencari range nilai parameter yang tepat untuk memodelkan kondisi *baseflow* yang terjadi di dalam DAS tersebut.

3. Kalibrasi pada periode hujan

Setelah tingkat *baseflow* ditentukan, selanjutnya model dikalibrasi untuk bisa mereproduksi debit pada waktu musim penghujan.

4. Kalibrasi periode tahunan

Setelah model dianggap mampu mereproduksi debit pada periode kering dan periode hujan, proses kalibrasi diperbaiki dengan mengoreksi nilai parameter untuk periode: 1990 – 1994.

b. Prosedur Validasi

Metode kalibrasi yang dilakukan mengacu pada *metode 1: The split sample test*. Setelah didapatkan setting nilai parameter selama periode kalibrasi, nilai parameter tersebut digunakan untuk simulasi dengan menggunakan periode rentang waktu dari: 1995 – 2000.

5. Kalibrasi dan validasi dengan parameter silang

Setting parameter yang telah dihasilkan pada point (4) untuk kedua DAS selanjutnya disilangkan. Parameter yang dihasilkan dari kalibrasi model pada sub-DAS KlopoSawit, selanjutnya digunakan untuk kalibrasi model pada sub-DAS Rawatamtu dan sebaliknya. Hasil pemodelan dengan parameter silang, dibandingkan dengan hasil pemodelan menggunakan parameter awal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Kalibrasi

a. Pemilihan periode warm-up

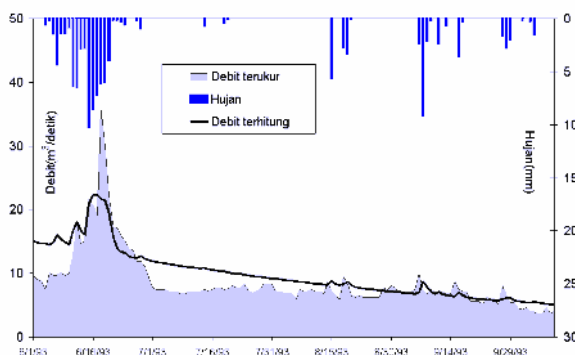
Warm-up adalah periode untuk inisiasi dan dicari dengan coba-coba. Parameter yang digunakan pada saat Warm-Up adalah parameter asli (default) model. Selanjutnya digunakan periode warm-up dengan 400 data.

Tabel 3. Periode warm-up

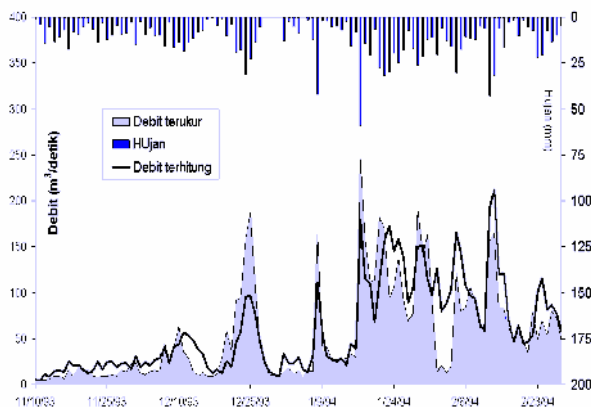
Warm-Up	100	200	300	400	500
R squared	0.75	0.76	0.76	0.76	0.75
Bias	96	74	70	63	59

b. Hasil Kalibrasi

Contoh hasil kalibrasi pada musim kemarau diberikan pada Gambar 6. Selanjutnya, (Gambar 7) menunjukkan hasil kalibrasi pada musim penghujan. Kalibrasi pada periode tahunan diberikan pada (Gambar 8: pada lampiran 1): Zoom untuk periode: 1990-1994.



Gambar 6. Hasil kalibrasi pada musim kemarau, Zoom : 5 April s/d 10 Oktober 1993



Gambar 7. Zoom untuk periode 10 November 1993 s/d Februari 1994.

Hasil kalibrasi pada periode: 1990-1994 menghasilkan nilai $R^2 = 0,83$ dan bias = 21,6 mm/tahun (Gambar 8).

Nilai $R^2 = 0,83$ atau lebih dari 0,75, menunjukkan tingkat kesesuaian yang cukup baik antara debit terukur dan debit yang termodelkan.

Pada prinsipnya model bisa digunakan untuk melakukan simulasi debit harian pada jangka waktu tahunan, dengan selisih curah hujan hasil perhitungan dan pengukuran yang juga relatif kecil (21,6 mm/ tahun). Rerata curah hujan di wilayah tersebut berkisar antara 1500 s/d 2000 mm per tahun.

c. Hasil Validasi

Contoh hasil validasi diberikan pada (Gambar 9 sampai 11: lampiran 1). Dalam hal ini, validasi untuk tahun 1995 – 2000 menghasilkan nilai $R^2 = 0,77$ dengan nilai bias 78,07 mm/tahun.

2. Pembahasan

Pada Gambar (7) dan beberapa gambar pada lampiran seperti Gambar (8), Gambar (9), Gambar (10), dan Gambar (11), menunjukkan kemampuan model dalam mereproduksi siklus hidrologi pada musim penghujan dan periode tahunan.

Secara visual maupun statistik proses kalibrasi dan validasi menunjukkan hasil yang memuaskan. Fluktuasi naik dan turunnya debit sungai relatif bisa diikuti oleh perhitungan model. Keterbatasan dan kualitas data pengukuran juga berpengaruh terhadap kualitas hasil pemodelan. Dalam hal ini, pengambilan air untuk irigasi dan keperluan lain tidak dimasukkan dalam perhitungan. Pada saat musim penghujan factor-faktor tersebut di atas relatif tidak signifikan dalam memberikan kontribusi debit sungai.

Sebaliknya, pada musim kemarau (Gambar 6 dan Gambar 9), kontribusi pengambilan debit sungai untuk irigasi dan keperluan lain akan cukup signifikan terhadap jumlah debit di sungai. Hal ini tidak bisa diantisipasi oleh model. Perbedaan tersebut jelas kelihatan pada rentang musim kemarau, antara bulan Juni s/d September.

Pada kasus ini, fokus pemodelan adalah siklus neraca air dalam rentang waktu yang cukup panjang (lebih dari 1 tahun), selisih debit terukur dan terhitung pada musim kemarau relatif kecil dampaknya terhadap neraca air tahunan. Sehingga dapat dikatakan bahwa IHACRES bisa mereproduksi neraca air pada rentang tahunan dengan nilai koherensi lebih dari 75%. Nilai tersebut relatif cukup bagus untuk kasus-kasus pemodelan di Indonesia, dimana kualitas dan kuantitas data sangat terbatas

e. Nilai parameter

Hasil-hasil tersebut menggunakan kombinasi nilai parameter sebagaimana tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai parameter untuk kalibrasi model

Jenis parameter	Nilai	
	Rawatamtu	Kloposawit
Mass balance term (C)	0.0042	0.0015
Drying rate at reference temperature (tw)	28	48
Temperature dependence of drying rate (f)	1.3	2.5
Reference temperature (tref)	21	16
Moisture threshold for producing flow (l)	0	0
Power on soil moisture (p)	1	1
Recession rate 1 ($a^{(s)}$)	-0.99	-0.99
Recession rate 2 ($a^{(q)}$)	-0.46	-0.37
Peak respons 1 ($b^{(s)}$)	0.002	0.004
Peak respons 2 ($b^{(q)}$)	0.389	0.228
Time constant 1 ($t^{(s)}$)	147.51	177.19
Time constant 2 ($t^{(q)}$)	1.29	1.007
Volume proportion 1 ($v^{(s)}$)	0.28	0.64
Volume proportion 2 ($v^{(q)}$)	0.72	0.36

f. Kloposawit ke Rawatamtu

Pada proses ini, parameter optimal hasil kalibrasi di sub-DAS Klopo Sawit digunakan untuk proses validasi di sub-DAS Rawatamtu. Validasi dengan menggunakan parameter DAS KlopoSawit tersebut menghasilkan *R squared* 0.77 dan *bias* 105.1 mm/tahun (Tabel 5).

Tabel 5. Perbandingan nilai statistik

Proses Kalibrasi	Kal. dan Val. di DAS Rawatamtu	
	R squared	Bias (mm/tahun)
a. Parameter awal (kalibrasi)	0,83	21,6
b. Parameter awal (validasi)	0,77	78,1
c. Parameter dari sub-DAS Kloposawit (validasi)	0,77	105,09

R squared yang dihasilkan ternyata memberikan nilai yang hampir sama dengan nilai validasi yang dilakukan dengan metode *simple-sample test*. Selisih nilai yang ada relatif kecil sehingga kombinasi parameter sub-DAS Klopo Sawit masih dapat digunakan di sub-DAS Rawatamtu.

g. Rawatamtu ke Kloposawit

Parameter optimal yang dihasilkan selama proses kalibrasi di sub-DAS Rawatamtu, selanjutnya digunakan untuk validasi di sub-DAS Klopo Sawit. Treatment ini menghasilkan nilai *R squared* = 0.795 dan *bias* 17.23 mm/tahun (Tabel 6). Sehingga dapat disimpulkan bahwa parameter sub-DAS Rawatamtu juga dapat digunakan di sub-DAS Klopo Sawit.

Tabel 6. Perbandingan nilai statistik

Proses Kalibrasi	Kal. Dan Val di DAS Kloposawit	
	R squared	Bias (mm/tahun)
a. Parameter awal (kalibrasi)	0,87	59,2
b. Parameter awal (validasi)	0,78	20,8
c. Parameter dari sub-DAS Rawatamtu (validasi)	0,79	17,23

Selisih nilai *R squared* dan *bias* pada validasi metode *simple-sample test* dan metode *different split-sample test* tidak jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa antara dua DAS yang secara geografis letaknya saling berdekatan, terdapat beberapa kesamaan karakteristik fisik dan hidro-klimatologi. Perbedaan yang ada tersebut tidak terlalu mencolok sehingga masih dapat diabaikan dan tidak berpengaruh nyata terhadap setting parameter model. Adanya beberapa persamaan karakteristik tersebut mengakibatkan parameter optimal hasil kalibrasi pada sub-DAS yang satu dapat diterapkan di sub-DAS yang lain.

Aplikasi lebih lanjut bisa dikembangkan dengan memperluas wilayah kerja parameter, misalnya dengan mengaplikasikan model pada sub-das lain di wilayah tersebut. Dalam hal ini, asumsi yang bisa digunakan adalah bahwa DAS-DAS tersebut masih di bawah pengaruh iklim lokal yang sama. Mengingat model hujan – aliran relatif sangat dipengaruhi oleh hujan yang masuk ke dalam DAS, maka: aplikasi model pada wilayah tersebut bisa dilakukan dengan setting-parameter yang relatif identik.

Pendekatan yang umum dipakai adalah dengan range nilai parameter. Metode import parameter semacam ini akan berguna untuk prediksi pada DAS yang tidak terukur atau untuk mempelajari masalah regionalisasi parameter. Dari tabel (7)

selanjutnya dibuat nilai range masing-masing parameter sebagaimana ditampilkan dalam tabel (7).

Tabel 7. Range parameter hasil kalibrasi pada DAS Kloposawit dan DAS Rawatamtu

Jenis parameter	Range nilai parameter	
	Minimum	Maksimum
Mass balance term (C)	0.0015	0.0042
Drying rate at reference temperature (tw)	28	48
Temperature dependence of drying rate (f)	1.3	2.5
Reference temperature (tref)	16	21
Moisture threshold for producing flow (l)	0	0
Power on soil moisture (p)	1	1
Recession rate 1 (a ^(s))	-0.99	-0.99
Recession rate 2 (a ^(q))	-0.46	-0.37
Peak respons 1 (b ^(s))	0.002	0.004
Peak respons 2 (b ^(q))	0.228	0.389
Time constant 1 (t ^(s))	147.5	177.2
Time constant 2 (t ^(q))	1.01	1.29
Volume proportion 1 (v ^(s))	0.28	0.64
Volume proportion 2 (v ^(q))	0.36	0.72

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas seluruh pembiayaan penelitian ini yang merupakan bagian dari grand: DIPA internal UNEJ dan Penelitian Dosen Muda DP2M-DIKTI. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada DINAS PU Pengairan Jatim yang telah mendukung data-data untuk penelitian. Juga terima kasih kepada Mahasiswa PS TEP, FTP, UNEJ yang telah membantu selama proses penelitian dan semua pihak yang terlibat dalam proses penelitian ini.

KESIMPULAN

Secara umum dapat dikatakan bahwa, kalibrasi model IHACRES di kedua sub-DAS menunjukkan hasil yang baik dengan nilai $R^2 > 0.77$. Hasil validasi juga menunjukkan bahwa penggunaan setting-parameter yang relatif identik bisa dilakukan pada ke dua DAS yang relative identik karakteristik fisiknya. Aplikasi lain yang bisa dilakukan dari penelitian ini adalah regionalisasi pamater model.

DAFTAR PUSTAKA

Blöschl, G., and Grayson, R. 2000. ' Spatial observation and interpolation.' In : R.

Grayson and G. Blöschl,(eds.), Spatial Pattern in Catchment Hydrology : Observation and modelling ", Cambridge University Press, Cambridge, pp : 17-50.

Croke, B.F.W. and Jakeman A.J. 2004, "A Catchment Moisture Deficit module for the IHACRES rainfall-runoff model", Environmental Modelling and Software, vol 19, pp 1-5.

Croke, B.F.W., Andrews, F., Spate, J., and Cuddy, S., 2004. IHACRES User Guide, Software Version Classic Plus – V2.0, ICAM Centre, The Australian National University.

Croke, B.F.W., Andrews, F., Jakeman, A.J., Cuddy, S. and Luddy, A. 2005. Redesign of the IHACRES rainfall-runoff model, to appear in the proceedings of the 29th Hydrology and Water Resources Symposium, Engineers Australia, February 2005.

Dye P.J. and B. F. W. Croke 2003, "Evaluation of streamflow predictions by the IHACRES rainfall-runoff model in two South African catchments", Environmental Modelling and Software, vol 18, pp 705-712.

Fleeming, G. 1975. *Computer Simulation Techniques in Hydrology*. El Sevier.

Floyd, C. 1987. *Outline of a Paradigma Change in Software Engineering*. In Bjerknæs, G., Eha, P. and Kyng, M (Eds) *Computers and Democracy*. Avebury, Aldershot, UK, and Brookfield, USA

Jakeman, A.J., Littlewood, I.G., and P.G. Whitehead., 1990, "Computation of the instantaneous unit hydrograph and identifiable component flows with application to two small upland catchments", Journal of Hydrology, vol 117, pp 275-300.

Jakeman, A. J., and Hornberger G. M. 1993, "How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model?", Water Resources. Research, vol 29, pp 2637-2649.

Klemes, V. 1986. ' Dilettantism in hydrology : transition or destiny ? ' *Water Resource Research*, 22, 9, pp : 177-188.

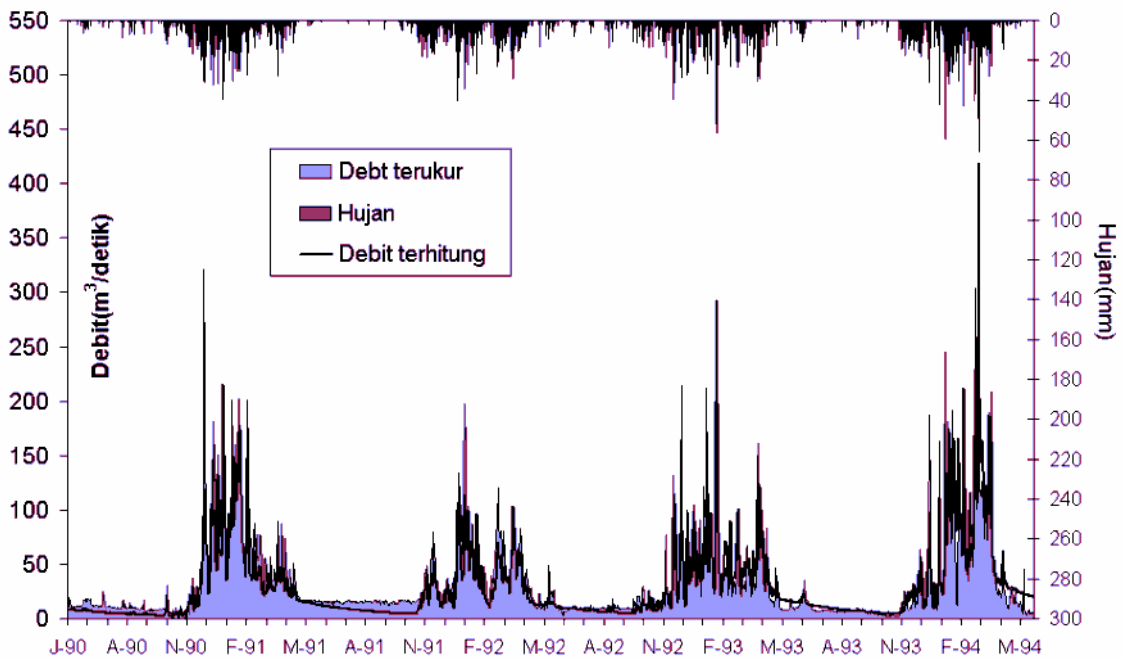
Littlewood, I.G, Down, K., Parker, J.R and Post, D.A. 1997a. **IHACRES v1.02 User Guide**. Centre for Ecology and Hydrologi, Wallingford, UK & Integrated Catcment Assesment and Management Centre. Australian National University, Canberra, 94pp.

Littlewood, I.G, K. Down, J.R. Parker and D.A Post. 1997b. *IHACRES Catchment Scale Rainfall-Streamflow Modelling* (PC Version). The Australian National University, Canberra, 99p.

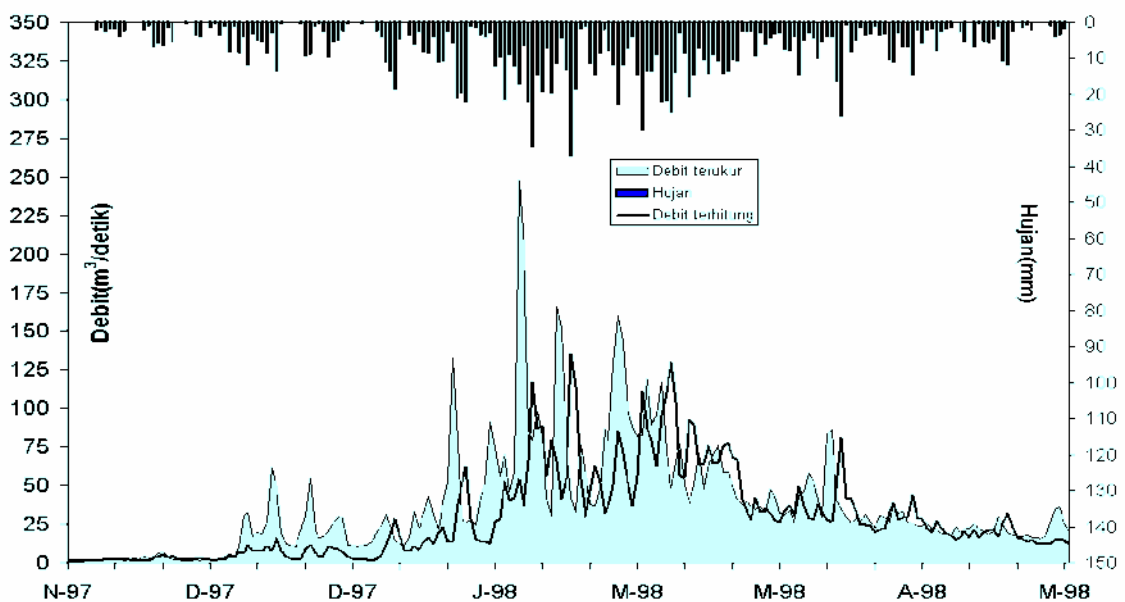
Refsgaard, J. S. 2000. 'Towards a Formal Approach to Calibration and Validation of Models Using Spatial Data.' In : R. Grayson and G. Blöschl, (eds.), Spatial Patterns in Catchment Hydrology, Cambridge University Press, Cambridge, pp : 397 + index.

Ye, W., B. C. Bates, N. R. Viney, M. Sivapalan and A. J. Jakeman 1997, "Performance of conceptual rainfall-runoff models in low-yielding ephemeral catchments", *Water Resources Research*, vol 33, pp 153-16.

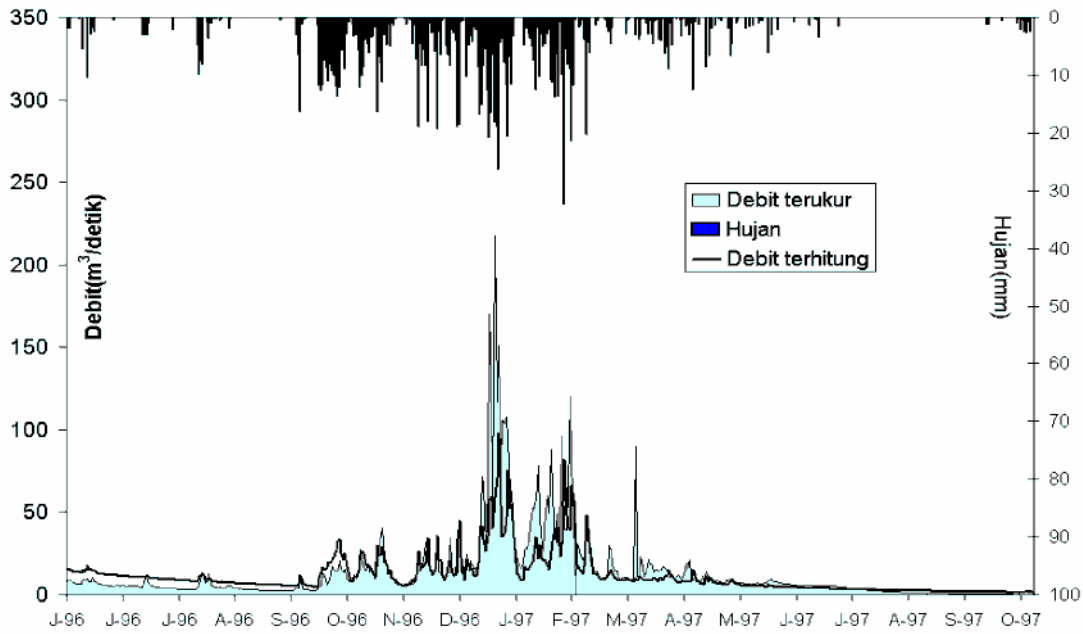
LAMPIRAN



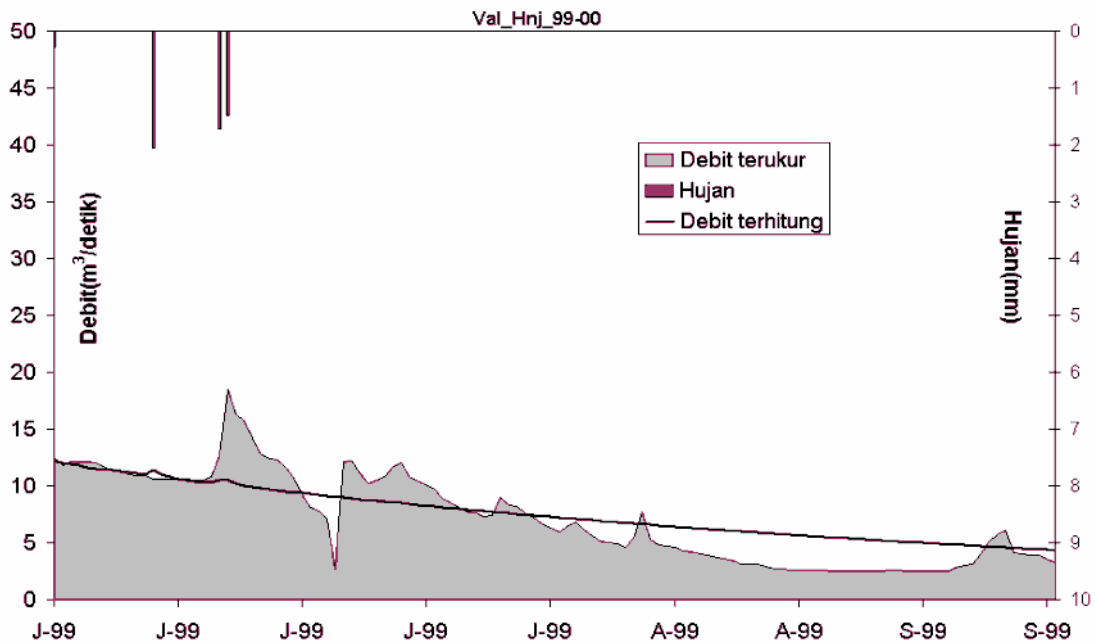
Gambar 8. (Lampiran-1): Hasil kalibrasi untuk periode tahunan. Zoom untuk periode: 1990 -1994.



Gambar 9. (Lampiran-2): Hasil validasi. Zoom: 1 juni s/d 30 September 1999.



Gambar 10. (Lampiran-3): Hasil validasi. Zoom: 1 juni 1996 s/d 30 Oktober 1997



Gambar 11. (Lampiran-4): Hasil validasi. Zoom: 1 November 1997 s/d 31 Mei 1998.