

**UJI KEANDALAN MODEL SACRAMENTO PADA DAS
BEDADUNG DAN DAS KLOPOSAWIT**

Reliability Test of Sacramento Model at The Bedadung and Kloposawit Watershed

Sri Wahyuningsih¹⁾, Elida Novita¹⁾, Indarto¹⁾

¹⁾Staf pengajar Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

ABSTRACT

Sacramento model is once of rainfall runoff Library (RRL) model which used to measure the flow components that include rainfall, evaporation and discharge. Sacramento model using soil moisture measurements to simulate the water balance at the catchment area. Sacramento model is a relatively new model so needs to be done the testing of this model. The testing process is often used for modeling is a process of calibration and validation. Aim this study is to evaluate the feasibility of the Sacramento model to be applied in the Bedadung and Kloposawit watershed and compare the optimal parameters the both watersheds on the basis of their characteristics. The methodology used is the calibration and validation. Calibration is done by automatic methods (generic) and the method of trial and error (manually) while the method for validating is simple-sample test. The results showed that the Sacramento model proper to applied in the Bedadung and Kloposawit watershed. This is indicated by the Nash coefficient, the coefficient of correlation and bias. By using generic methods on Bedadung watershed available the Nash coefficient value of 0.849, the correlation coefficient for 0.993 and bias of 8.11. Meanwhile, if using manual methods will be obtained the Nash coefficient for 0.906 and correlation coefficient equal to 0.997. While the generic calibration method in the Kloposawit watershed available the Nash coefficient values obtained for 0,894, the correlation coefficient for 0.967 and bias of 11.11. Meanwhile, if using manual methods will be obtained for Nash coefficient is 0.918 and correlation coefficient equal to 0.968. The method of validation model with a simple -sample test. The result of validation for Klopo sawit watershed is the Nash coefficient value of 0.913 and the correlation coefficient for 0.989. While the Bedadung watershed is the Nash coefficient value of 0.860, the correlation coefficient for 0.991.

Key words: *sacramento, calibration, validation, simple-sample test, nash coefficient*

PENDAHULUAN

Konsep daur hidrologi merupakan hal yang berguna sebagai titik awal untuk mempelajari hidrologi. Daur ini dimulai dengan penguapan air dari laut. Uap yang dihasilkan dibawa oleh udara yang bergerak. Dalam kondisi yang memungkinkan, uap tersebut berkondensasi membentuk awan, yang pada akhirnya dapat menghasilkan presipitasi. Sebagian besar presipitasi tersebut untuk sementara tertahan pada tanah di dekat tempatnya jatuh, dan akhirnya dikembalikan lagi ke atmosfer oleh penguapan (evaporasi) dan pemeluhan (transpirasi) oleh tanaman. Sebagian air mencari jalannya sendiri

melalui permukaan dan bagian atas tanah menuju sungai, sementara lainnya menembus masuk lebih jauh ke dalam tanah menjadi bagian dari air tanah (*groundwater*). Di bawah pengaruh gaya gravitasi, baik aliran air permukaan (*surface streamflow*) maupun air dalam tanah bergerak menuju tempat yang lebih rendah yang pada akhirnya dapat mengalir ke laut. Namun, sejumlah besar air permukaan dan air bawah tanah dikembalikan ke atmosfer oleh evaporasi dan transpirasi (Takeda,1993).

Berbagai fenomena hidrologi yang terdapat di alam memerlukan suatu penyederhanaan (abstraksi). Demikian juga untuk memahami siklus hidrologi kita membutuhkan abstraksi dari

fenomena tersebut. Abstraksi yang dimaksud di sini adalah menempatkan fenomena tersebut ke dalam sebuah model. Berbagai model hidrologi telah dikembangkan, model-model tersebut diaplikasikan sesuai dengan tujuan pembuatan model dan kemungkinan tersedianya data. Salah satu model yang dikembangkan yaitu model *Rainfall Runoff Library* (RRL). RRL menggunakan data hujan harian dan data evapotranspirasi untuk mengetahui *runoff* suatu daerah aliran sungai (DAS). RRL ini mempunyai beberapa model yang dapat digunakan untuk menghitung *runoff-rainfall*, mencari kalibrasi model yang optimal dan menyediakan berbagai fasilitas untuk proses kalibrasi model. Salah satu bagian dari RRL adalah model Sacramento.

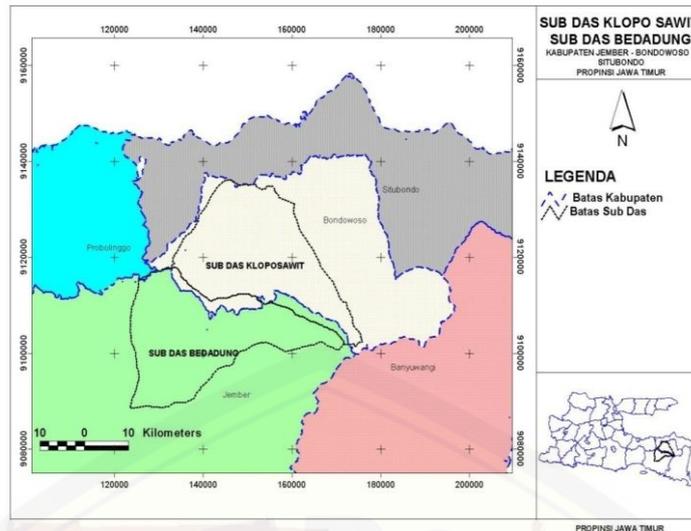
Model Sacramento adalah salah satu model dari *Rainfall Runoff Library* (RRL) yang digunakan untuk mengukur komponen-komponen aliran yang meliputi curah hujan, evaporasi dan debit. Model Sacramento menggunakan pengukuran kelembaban tanah untuk mensimulasi keseimbangan air pada suatu daerah tangkapan hujan. Model Sacramento merupakan model yang relatif baru sehingga pengujian terhadap model ini perlu dilakukan. Proses pengujian yang sering

digunakan untuk suatu pemodelan yaitu proses kalibrasi dan validasi. Kalibrasi terhadap suatu 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 et Grayson, 2000). Validasi adalah proses evaluasi terhadap model untuk mendapatkan gambaran tentang tingkat ketidakpastian oleh suatu model dalam memprediksi proses hidrologi. Tujuan penelitian ini adalah 1) untuk mengetahui kelayakan model Sacramento yang diaplikasikan pada DAS Klopo Sawit dan DAS Bedadung Jember. 2) membandingkan hasil kalibrasi dan validasi DAS Klopo Sawit dan DAS Bedadung berdasarkan karakteristik masing-masing DAS.

METODE PENELITIAN

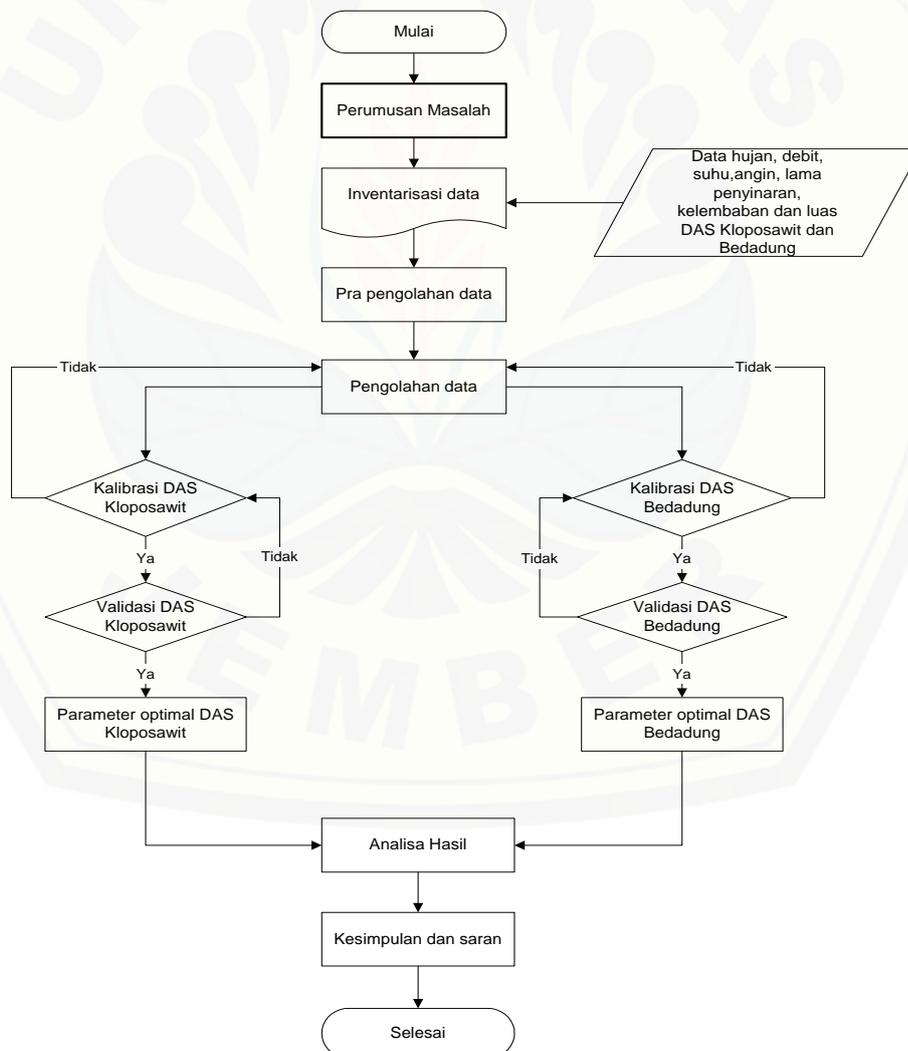
Rancangan Penelitian

Penelitian survai ini dilakukan mulai bulan Agustus 2005, studi kasus di DAS Klopo Sawit Bondowoso dan DAS Bedadung Jember. Pengolahan data dilakukan di Pusat Penelitian Pengembangan Sumber Daya Air dan Irigasi (PUSLIT PSDA) Universitas Jember (**Gambar 1**).



Gambar 1. Lokasi penelitian

Penelitian ini terdiri atas beberapa tahap penelitian yang diajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir tahapan penelitian

Bahan dan Alat

Bahan berupa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peta rupa bumi Indonesia yang dikeluarkan oleh BAKOSURTANAL dengan skala 1: 25.000
2. Data lama penyinaran matahari DAS Bedadung periode tahun 1991 sampai 2000 dan DAS Klopo Sawit periode tahun 1999 sampai 2005
3. Data suhu DAS Bedadung periode tahun 1991-2000 dan DAS Klopo Sawit periode tahun 1999 sampai 2005
4. Data kecepatan angin DAS Bedadung periode tahun 1991-2000 dan DAS Klopo Sawit periode tahun 1999 sampai 2005
5. Data kelembaban DAS Bedadung periode tahun 1991-2000 dan DAS Klopo Sawit periode tahun 1999 sampai 2005
6. Data debit periode tahun 1991-2000
7. Data curah hujan harian periode 1991 luas DAS Klopo Sawit dan DAS Bedadung.

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah satu unit komputer (prosesor Pentium IV, RAM 256 MB, MS Window XP); dan perangkat lunak (software program RRL dengan model Sacramento, software ArcView Versi 3.3, dan MapInfo versi 7.0).

Metode Penentuan Lokasi

Metode penentuan lokasi untuk penelitian dilakukan secara sengaja (*purposive methode*) yaitu di Daerah Aliran Sungai (DAS) Klopo Sawit dan DAS Bedadung. Hal ini dikarenakan letak dari kedua DAS yang berdekatan sehingga diasumsikan karakteristiknya tidak jauh berbeda, sehingga jika dilakukan perbandingan karakteristik aliran akan lebih mudah.

Metode Pemilihan Model

Model yang digunakan dalam penelitian adalah model Sacramento Karena model ini masih relatif baru di Indonesia. Untuk mengetahui layak tidaknya model dalam penerapannya di Indonesia, maka perlu dilakukan kalibrasi dan validasi terhadap model. Pemilihan model Sacramento didasarkan karena keakuratan dan kebenaran hasil (parameter) dari model Sacramento lebih tepat dan diharapkan dapat mewakili kondisi DAS, tetapi dengan syarat kualitas dari data hujan, evaporasi dan *runoff* yang digunakan baik. Selain itu penggunaannya sederhana dan mudah.

Metode Penentuan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa data sekunder dari kedua DAS yang diperoleh dari DPU Pengairan Provinsi Jawa Timur. Data hujan, *runoff*, debit dan evapotranspirasi yang digunakan terbatas pada data harian saja dikarenakan data harian dapat mewakili keadaan per hari pada suatu periode, selain itu data masukan yang dapat diterima oleh model Sacramento ini adalah data harian.

Inventarisasi Data

Tahapan ini bertujuan untuk mengumpulkan data-data yang diperlukan dalam penelitian. Data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- a. Data curah hujan harian
Data curah hujan harian yang ada di DAS Kloposawit dan DAS Bedadung dengan periode mulai tahun 1991 sampai dengan 2000. Untuk DAS Kloposawit, hujan diambil dari 17 stasiun dan DAS Bedadung dari 24 stasiun. Pemilihan stasiun ini didasarkan pada hubungan korelasi yang baik (di atas 70 %) antara hujan dengan debit.

- b. Data lama penyinaran matahari
Data lama penyinaran di DAS Klopo Sawit adalah data harian dari tahun 1999 sampai 2005 sedangkan data DAS Bedadung adalah data dari tahun 1991 dan 2000. Data ini digunakan untuk mencari evapotranspirasi harian di DAS Klopo Sawit dan DAS Bedadung.
- c. Data suhu
Data suhu di DAS Klopo Sawit adalah data harian dari tahun 1999 sampai 2005 sedangkan data suhu DAS Bedadung adalah data harian dari tahun 1991 dan 2000. Data ini digunakan untuk mencari evapotranspirasi harian di DAS Klopo Sawit dan DAS Bedadung.
- d. Data kecepatan angin
Data kecepatan angin di DAS Klopo Sawit adalah data harian dari tahun 1999 sampai 2005 sedangkan data kecepatan angin DAS Bedadung adalah data harian dari tahun 1991 dan 2000. Data ini digunakan untuk mencari evapotranspirasi harian di DAS Klopo Sawit dan DAS Bedadung.
- e. Data kelembaban
Data kelembaban di DAS Klopo Sawit adalah data harian dari tahun 1999 sampai 2005 sedangkan data kelembaban DAS Bedadung adalah data harian dari tahun 1991 dan 2000. Data ini juga digunakan untuk mencari evapotranspirasi harian di DAS Klopo Sawit dan DAS Bedadung.
- f. Data debit
Data debit harian dari kedua DAS, dari tahun 1991-2000. Data debit digunakan untuk mencari stasiun hujan yang layak digunakan dengan melihat korelasi yang baik antara hujan dan debit.
- g. Peta rupa bumi Indonesia Indonesia yang dikeluarkan oleh BAKOSUR-TANAL dengan skala 1: 25.000. Peta ini merupakan peta asli untuk melakukan digitalisasi peta dalam

mendiskripsikan karakteristik fisik DAS dan membuat batas DAS agar luasan DAS dapat diketahui.

Pra Pengolahan Data

- a. Data evapotranspirasi
Data ini didapatkan dari data penyinaran matahari, kelembaban, kecepatan angin, temperatur, curah hujan dan dicari dengan menggunakan rumus Penn-man. Data penyinaran matahari, kelembaban, kecepatan angin, temperatur DAS Bedadung adalah data harian dari tahun 1991 sampai 2000, sedangkan DAS Klopo Sawit terbatas dari tahun 1999 sampai 2005. Sehingga untuk menutupi kekurangan data, maka data tahun 1999 sampai 2005 digunakan untuk tahun 1991 sampai 2000 dengan asumsi bahwa Indonesia beriklim tropis, dimana perbedaan iklim setiap tahun tidak begitu besar seperti di kawasan.
- b. Data curah hujan
Studi awal terhadap data ini dilakukan untuk mengetahui dan mencari data hujan dari stasiun mana saja yang layak untuk dimasukkan ke dalam model. Masing-masing stasiun dibuat grafik hubungan antara hujan dan debit kemudian dicari nilai koefisien korelasinya.
- c. Data *Runoff*
Pada tahap ini, melakukan pengolahan terhadap data hujan yang sudah ada untuk *runoff*.

Pengolahan Data

- a. Data curah hujan harian
Data curah hujan yang telah diinventarisasi kemudian dimasukkan dalam program *Excel*. Dengan format tahun dan curah hujan pada satu kolom, sehingga terbentuk deretan kolom yang memanjang kebawah dari tahun 1991 sampai tahun 2000 dan disimpan dalam bentuk DAT file.

- b. Data evapotranspirasi harian
Data evapotranspirasi yang telah didapatkan kemudian dimasukkan dalam program *Excel*.

Kalibrasi dan Validasi Model

Kalibrasi dimulai dari data tahun 1990 sampai tahun 1995 dan terbagi dalam dua tahapan periode, yaitu periode kering dan periode basah. Hal itu dilakukan untuk mempermudah perolehan nilai *range* parameter agar mendapatkan hasil kalibrasi yang optimal. Sedangkan validasi dimulai dari data tahun 1996 sampai tahun 2000. Tahapan kalibrasi dan validasi yang dilakukan antara lain:

1. Metode kalibrasi yang digunakan adalah *automatic* dan *trial and errors*
2. Melakukan kalibrasi secara *trial and errors (manual)* dengan menjalankan *a dynamic update checkbox, list of calibration parameter, update graph*.
3. Melakukan kalibrasi secara otomatis (*generic calibration*)
4. Melakukan validasi model.

Optimalisasi Nilai Parameter

Setelah proses kalibrasi dan validasi dilakukan akan diperoleh nilai *range* parameter yang dapat memberikan hasil kalibrasi yang optimal. Beberapa ketentuan tersebut antara lain:

Nilai parameter terkait dengan kalibrasi dan validasi

Parameter-parameter yang terdapat model Sacramento yaitu UZTWM, UZFWM, LZTWM, LZFSM, LZFPM, UZK, LZSK, LZPK, PFREE, REXP, ZPERC, SIDE, SSOUT, PCTIM, ADIMP dan SARVA.

Kriteria statistik yang digunakan.

Kriteria statistik yang digunakan adalah *koefisien korelasi, nash sutcliffe coefficient* dan bias, dimana kalibrasi yang optimal akan menghasilkan nilai R^2 mendekati satu dan sebaliknya bias akan

mendekati nol. Beberapa perhitungan statistik yang dilakukan oleh model Sacramento antara lain:

a. Nash-Sutcliffe

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

b. Bias

$$\text{bias} = \frac{\sum (m(i) - o(i))}{n}$$

Grafik hasil kalibrasi dan validasi

Setelah menyelesaikan proses kalibrasi dan validasi maka grafik yang diharapkan dari pemodelan yaitu terdapat kecocokan antara *runoff* terukur dan terhitung sehingga dapat menunjukkan tingkat kevalidan pemodelan dan ketepatan pengolahan data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pra Analisis Data

Data evapotranspirasi tidak didapatkan secara langsung tetapi melalui perhitungan dengan menggunakan rumus *Penn-man*. Data-data yang diperlukan untuk menghitung evapotranspirasi yaitu data lama penyinaran matahari (radiasi matahari), kelembaban, kecepatan angin dan temperatur. Selain itu pra pengolahan data juga dilakukan pada *runoff*, *runoff* ini didapatkan dari 70% curah hujan. Hal ini berdasarkan asumsi bahwa dari hujan yang turun ke bumi maka 70% air akan menjadi *runoff*, dan diasumsikan 30% air hilang sebagai infiltrasi 10%, perkolasi 10% dan evapotranspirasi 10% (Dirjen Irigasi, 1986).

Analisis Data Input Model

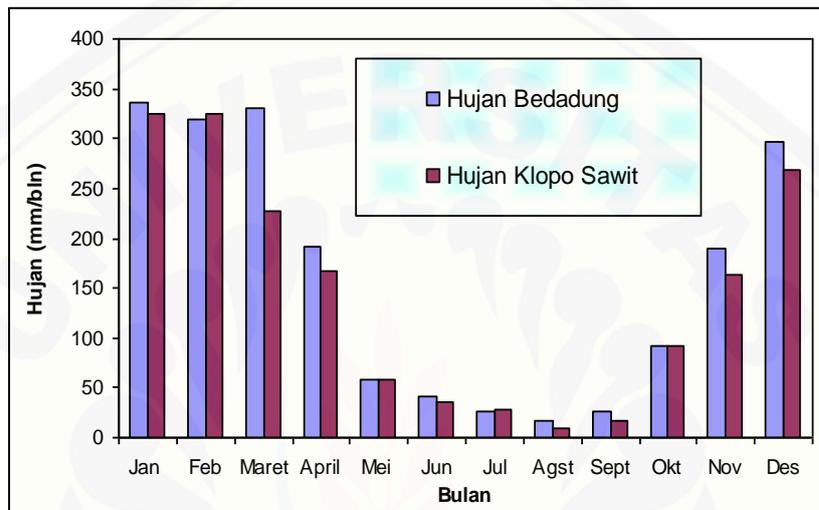
Analisis data hujan

Bulan dengan total curah hujan bulanan yang lebih dari 200 mm merupakan bulan basah, sedangkan bulan dengan total curah hujan yang kurang dari 100 mm merupakan bulan

kering. Dan diantara kedua bulan tersebut yaitu total hujan bulanan yang berkisar antara 100–200 mm disebut sebagai bulan lembab (Bakosurtanal, 1996 dalam Lakitan, 1997).

Perbandingan hujan bulanan di kedua DAS dapat dilihat pada **Gambar 3** di bawah ini. Dari grafik tersebut dapat dijelaskan bahwa bulan basah pada DAS Klopo Sawit dan DAS Bedadung terjadi selama 4 bulan mulai bulan

Desember sampai bulan Maret, sedangkan untuk bulan kering terjadi selama 6 bulan mulai bulan Mei sampai Oktober, sedangkan sisanya sebanyak 2 bulan yaitu bulan April dan November merupakan bulan lembab. Jumlah bulan basah, bulan kering dan bulan lembab di DAS Bedadung sama dengan DAS Klopo Sawit hal ini menunjukkan bahwa kedua DAS masih mempunyai kemiripan karakteristik DAS.



Gambar 3. Grafik perbandingan hujan bulanan DAS Bedadung dan DAS Klopo Sawit.

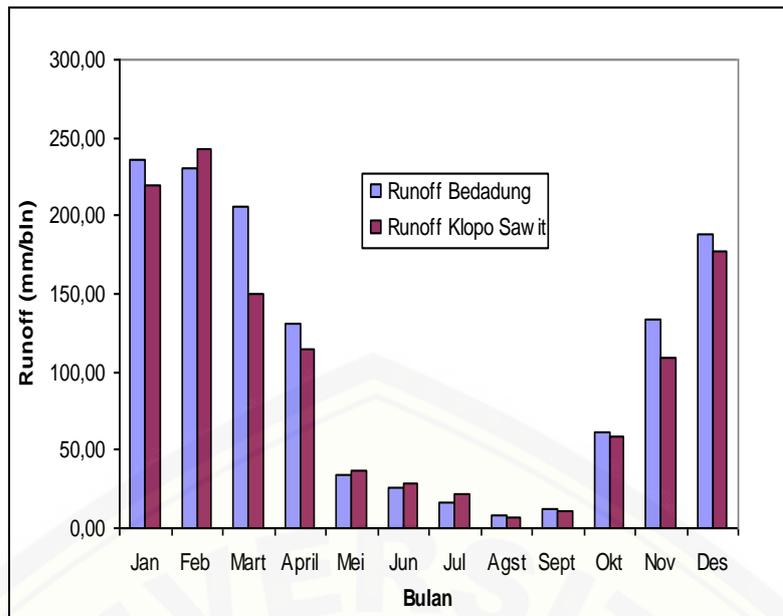
Dari **Gambar 3** dapat dilihat bahwa besarnya curah hujan total bulanan tertinggi DAS Klopo Sawit yang terjadi pada bulan Pebruari sebesar 325,64 mm/bulan sedangkan untuk DAS Bedadung juga terjadi pada bulan Januari sebesar 336,63 mm/bulan. Curah hujan total bulanan terendah sama-sama terjadi pada bulan Agustus dengan curah hujan di DAS Klopo sawit sebesar 9,56 mm/hari, sedangkan untuk DAS Bedadung sebesar 16,63 mm/hari.

Dari **Gambar 4** di bawah ini dapat diketahui bahwa *runoff* tertinggi pada DAS Klopo Sawit terjadi pada bulan Pebruari sebesar 243,28 mm, karena pada bulan tersebut curah hujan paling

tinggi yaitu sebesar 325,64 mm/bulan. Sedangkan *runoff* tertinggi pada DAS Bedadung terjadi pada bulan Januari sebesar 235,33 mm dengan curah hujan pada bulan tersebut sebesar 336,63 mm/bulan. Perbandingan karakteristik fisik pada kedua DAS antara lain berupa:

1. Jenis Tanah

DAS Klopo Sawit memiliki total tanah berat seluas 65,02 % dari luas tanah total, sedangkan DAS Bedadung memiliki total tanah berat seluas 54,30 % dari luas total. Dengan demikian *runoff* di DAS Klopo Sawit lebih besar jika dibandingkan dengan *runoff* di DAS Bedadung.



Gambar 4. Grafik rata-rata *runoff* bulanan DAS Bedadung Dan DAS Klopo Sawit

2. Vegetasi Penutup Tanah

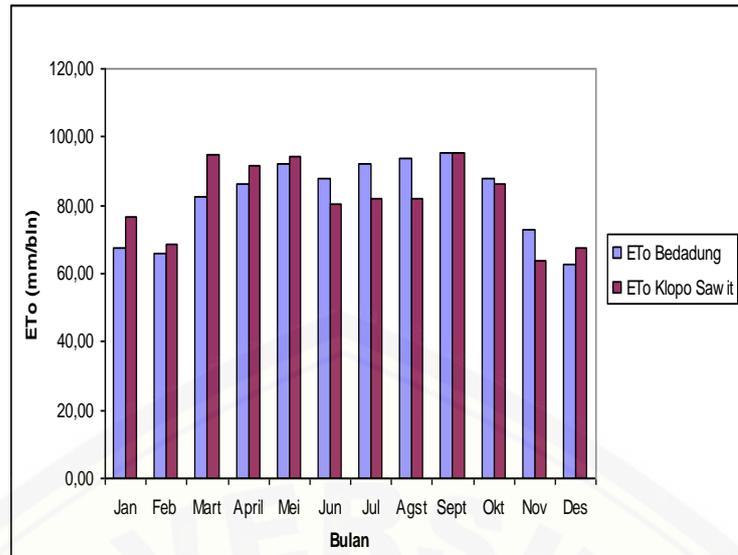
DAS Klopo Sawit memiliki hutan dengan proporsi 10,77 % dan produksi tanaman pangan serta lainnya seluas 89,23 %, sedangkan DAS Bedadung mempunyai hutan dengan proporsi 21,35 % dan produksi tanaman pangan serta yang lainnya seluas 78,65%. Luasan hutan pada DAS Klopo Sawit lebih kecil dibandingkan dengan DAS Bedadung sehingga *runoff* yang terjadi pada DAS ini lebih besar.

Analisis data evapotranspirasi

Evapotranspirasi di kedua DAS dapat dilihat pada **Gambar 5** yang menunjukkan bahwa evapotranspirasi potensial bulanan DAS Klopo Sawit

dan DAS Bedadung relatif hampir sama karena kedua DAS memiliki persentase hutan yang sama yaitu berkisar antara 10% sampai dengan 20 %, namun rata-rata evapotranspirasi potensial pada DAS Bedadung sedikit lebih tinggi. Hal ini dapat terjadi karena hutan DAS Bedadung sedikit lebih luas jika dibandingkan dengan luas hutan pada DAS Klopo Sawit, sehingga banyaknya vegetasi tumbuhan semakin memperbesar terjadinya evapotranspirasi.

Pada DAS Klopo Sawit evapotranspirasi potensial bulanan terbesar terjadi pada bulan September sebesar 95,29 mm, dan evapotranspirasi potensial bulanan terendah terjadi pada bulan November sebesar 63,65 mm.



Gambar 5. Grafik evapotranspirasi potensial bulanan DAS Bedadung dan DAS Klopo Sawit

Evapotranspirasi potensial pada DAS Bedadung berkisar antara 62,65 mm sampai dengan 95,30 mm. Evapotranspirasi potensial pada DAS Bedadung terbesar juga terjadi pada bulan September.

DAS Klopo Sawit

Analisis data untuk periode kalibrasi dan validasi

Analisis data ini dilakukan untuk melihat penyesuaian antara data *rainfall* dan debit. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pola yang terjadi pada data yang digunakan untuk proses kalibrasi DAS Klopo Sawit.

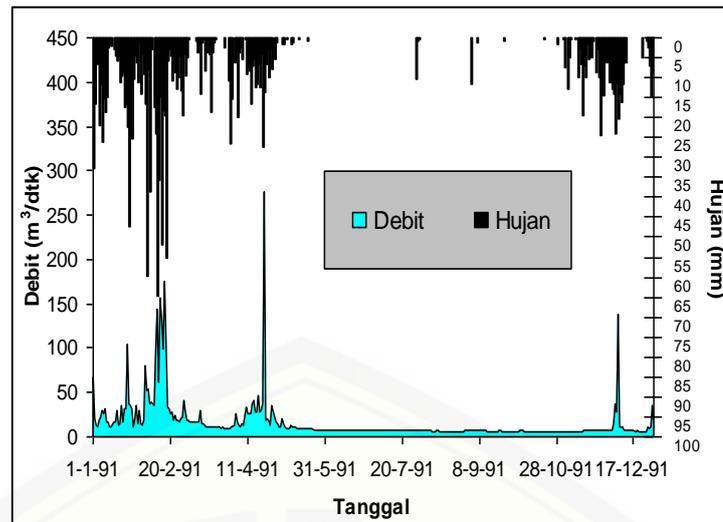
Data yang digunakan untuk proses kalibrasi dapat dilihat pada

Gambar 6 di bawah ini yang menunjukkan bahwa terdapat kesesuaian pola antara grafik *rainfall* dengan grafik debit, yaitu pada saat *rainfall* tinggi maka diikuti dengan debit yang tinggi atau sebaliknya. Dalam proses validasi juga perlu dilakukan analisis terhadap data yang akan digunakan dalam model.

Hasil Kalibrasi

Metode generic

Metode *generic* yaitu pengesatan parameter secara otomatis dilakukan oleh model. Kalibrasi yang dilakukan dari tahun 1991 sampai 1995 maka didapatkan hasil yang lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 2**.



Gambar 6. Grafik analisis data untuk kalibrasi DAS Klopo Sawit

Tabel 2. Pemilihan periode kalibrasi DAS Klopo Sawit

o.	Periode Kalibrasi	N	Korelasi	
			ash	Bias
.	1/1/91 - 31/12/91	894	0,967	11,11
.	1/1/92 - 31/12/92	837	0,986	11,68
.	1/1/93 - 31/12/93	813	0,923	14,09
.	1/1/94 - 31/12/94	774	0,952	20,74
.	1/1/95 - 31/12/95	234	0,502	129,68

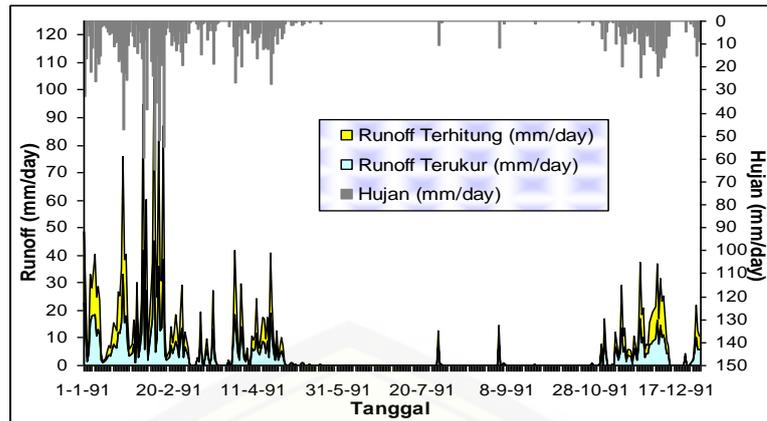
Dari **Tabel 2** di atas dapat dilihat bahwa periode kalibrasi yang dapat menghasilkan kalibrasi yang paling baik untuk DAS Klopo Sawit adalah periode 1 Januari sampai 31 Desember 1991. Koefisien Nash sebesar 0,894 dengan koefisien korelasi terbaik sebesar 0,967 dan *bias* 11,11 mm/tahun. Nilai koefisien korelasi tersebut menunjukkan keeratan hubungan antara variabel *x* dan *y* sehingga dapat digunakan untuk menunjukkan tingkat ketepatan antara *runoff* terukur dengan *runoff* terhitung yaitu sebesar 0,967. *Bias* menunjukkan selisih antara *runoff* terukur dan terhitung setiap tahunnya sebesar 11,11 mm/tahun. Sedangkan koefisien Nash menunjukkan tingkat ketelitian dari korelasi hubungan antara grafik yang terukur dan terhitung yaitu sebesar

0,894. Nilai ini dapat dioptimalkan lagi dengan melakukan kalibrasi secara manual, sehingga nantinya akan didapatkan parameter yang paling optimal.

Metode manual

Dengan melakukan kalibrasi secara manual maka didapatkan nilai koefisien Nash dan koefisien korelasi yang lebih baik, yaitu didapatkan nilai Koefisien Nash sebesar 0,918 dan koefisien korelasinya 0,968.

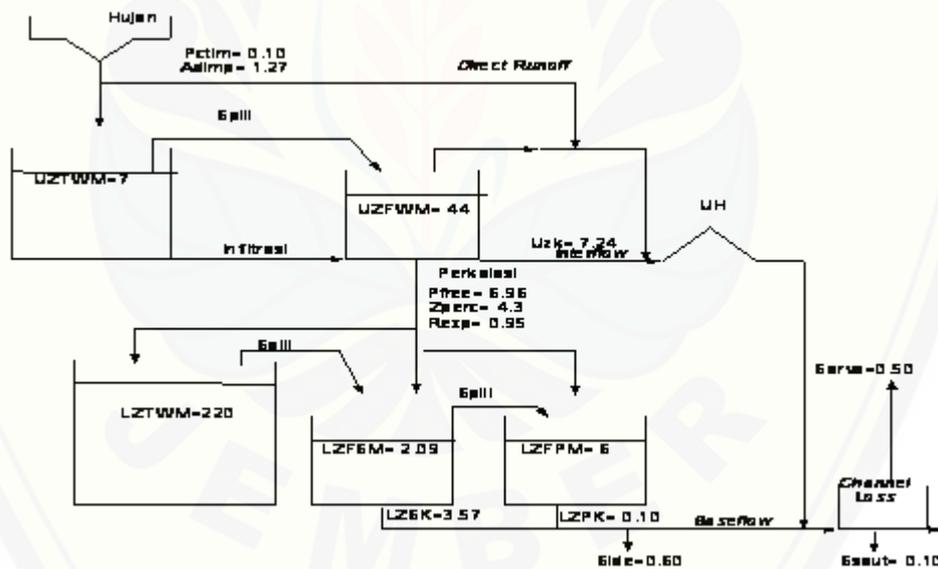
Selain ditunjukkan dengan nilai koefisien Nash dan koefisien korelasi, hasil ini dapat dikatakan bagus atau tidak juga dapat dilihat dari kesesuaian pola antara *runoff* terukur dan *runoff* terhitung hasil keluaran model yang dapat dilihat pada **Gambar 7** di bawah ini:



Gambar 7. Grafik *RunOff* terukur dan terhitung hasil kalibrasi DAS KlopoSawit

Dari **Gambar 7** Pada DAS Klopo Sawit terlihat bahwa terdapat kesesuaian pola antara data pengukuran dengan data perhitungan model, hal ini sesuai dengan koefisien Nash yang dihasilkan yaitu sebesar

0,918 dan koefisien korelasi hasil kalibrasi terbaik yaitu sebesar 0,968. Hasil pemodelan Sacramento untuk DAS Kloposawit mendapatkan kombinasi parameter yang optimal, seperti terlihat pada **Gambar 8**.

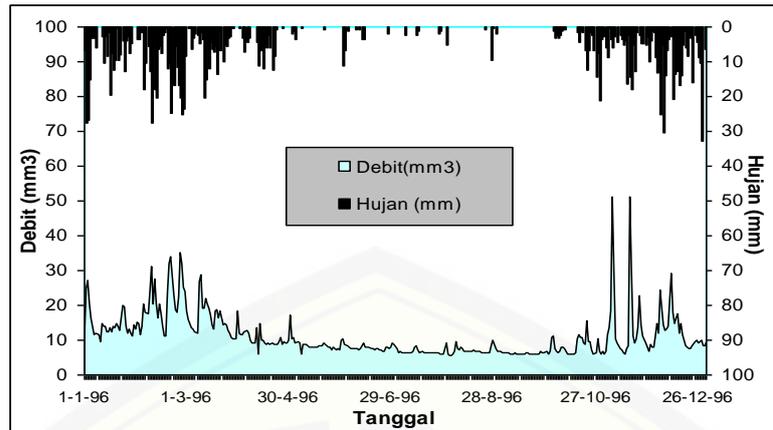


Gambar 8. Struktur model sacramento DAS Klopo Sawit

Hasil Validasi

Validasi (*validation*) merupakan proses evaluasi terhadap model untuk mendapatkan gambaran tentang tingkat ketidakpastian model dalam memprediksi proses hidrologi. Validasi dilakukan dengan menggunakan data di luar periode kalibrasi yaitu tahun 1995 – 2000.

Validasi dilakukan dengan metode *simple-sample test* sebagai evaluasi apakah parameter tersebut masih layak atau tidak untuk diterapkan pada periode-periode yang lain. Validasi dilakukan pada setiap tahun yaitu antara tahun 1996 sampai 2000 seperti pada **Gambar 9**. Setelah melakukan validasi maka didapatkan hasil seperti pada **Tabel 3** di bawah ini:



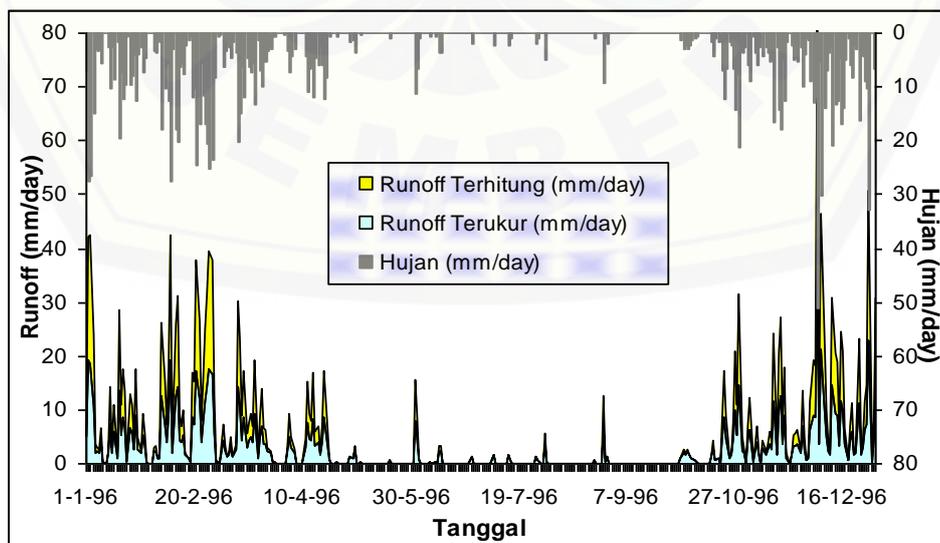
Gambar 9. Grafik analisis data untuk validasi DAS Klopo Sawit

Tabel 3. Pemilihan periode validasi DAS Klopo Sawit

No.	Periode validasi	Nash	Korelasi
1.	1/1/96- 1/12/96	0.913	0.989
2.	1/1/97 -31/12/97	0.530	0.955
3.	1/1/98 - 31/12/98	0.624	0.977
4.	1/1/99 - 31/12/99	0.707	0.884
5.	1/1/00 - 31/12/00	2.014	0.925

Dari proses validasi diperoleh nilai Koefisien Nash sebesar 0,913 dan nilai koefisien korelasi sebesar 0,989. Perbandingan itu menunjukkan bahwa parameter tersebut layak atau cocok digunakan pada periode kalibrasi maupun validasi. Dari Gambar 10 di

bawah dapat diketahui bahwa pola antara grafik *runoff* terukur mempunyai kesesuaian dengan grafik *runoff* terhitung hasil validasi model. Ini berarti adanya kelayakan dari parameter yang diperoleh.



Gambar 10. Grafik *runoff* terukur dan terhitung hasil Validasi DAS Klopo Sawit

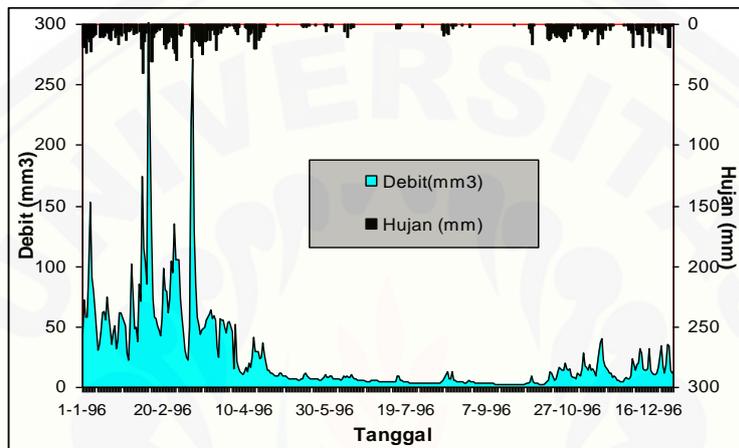
DAS Bedadung

Analisa Data untuk Periode Kalibrasi dan Validasi

Analisa data debit dan data curah hujan pada DAS Bedadung dapat dilihat seperti **Gambar 11** di bawah ini. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa terdapat kesesuaian pola antara grafik *rainfall* dengan grafik debit, yaitu pada saat *rainfall* tinggi maka diikuti dengan debit yang tinggi atau sebaliknya.

Proses validasi dilakukan untuk melihat penyesuaian antara data *rainfall* dan debit. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pola yang terjadi pada data yang digunakan untuk proses validasi DAS Klopo Sawit.

Dari **Gambar 12** di bawah dapat diketahui bahwa terdapat kesesuaian pola antara grafik *rainfall* dengan grafik debit, yaitu pada saat *rainfall* tinggi maka diikuti dengan debit yang tinggi atau sebaliknya.



Gambar 12. Grafik analisis data untuk validasi DAS Bedadung

Hasil Kalibrasi

Metode generic

Metode *generic* yaitu pengesatan parameter secara otomatis dilakukan oleh model. Dari proses kalibrasi didapatkan hasil seperti pada **Tabel 5**. Dari **Tabel 5** di atas dapat dilihat bahwa periode kalibrasi yang dapat menghasilkan kalibrasi yang paling baik untuk DAS Bedadung adalah periode 1 Januari sampai 31 Desember 1991. Koefisien korelasi terbaik sebesar 0,99 dengan *bias* 8,11 mm/tahun dan

koefisien Nash sebesar 0,85. Nilai koefisien korelasi tersebut menunjukkan tingkat ketepatan antara *runoff* terukur dengan *runoff* terhitung yaitu sebesar 0,99. Bias menunjukkan selisih antara *runoff* terukur dan terhitung setiap tahunnya sebesar 8,11. Sedangkan koefisien Nash menunjukkan tingkat ketelitian dari korelasi hubungan antara yang terukur dan terhitung yaitu sebesar 0,85. Nilai ini dapat dioptimalkan lagi dengan melakukan kalibrasi secara manual.

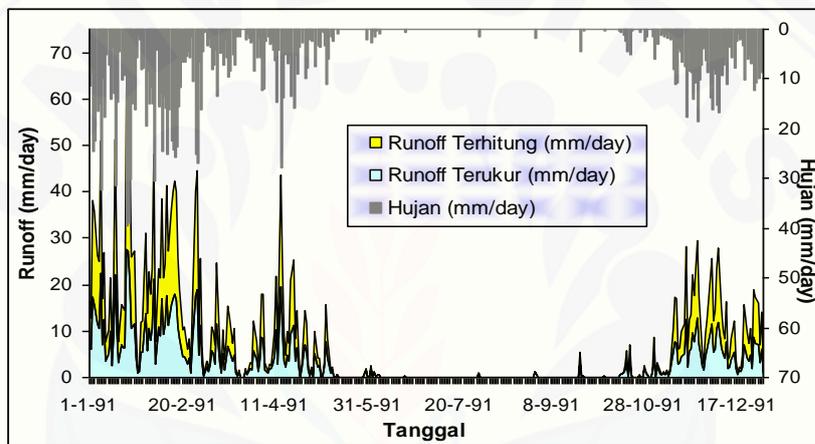
Tabel 5. Pemilihan periode kalibrasi DAS Bedadung

No.	Periode Kalibrasi	Nash	Korelasi	Bias
1.	1/1/91- 31/12/91	0,849	0,993	8,11
2.	1/1/92 - 31/12/92	0,529	0,903	104,07
3.	1/1/93 - 31/12/93	0,463	0,958	136,17
4.	1/1/94 - 31/12/94	0,840	0,924	30,88
5.	1/1/95 - 31/12/95	0,789	0,911	45,10

Metode manual

Dengan melakukan kalibrasi secara manual maka akan didapatkan nilai koefisien Nash dan koefisien korelasi yang lebih bagus. Pada DAS Bedadung koefisien Nash sebesar 0,91

dengan koefisien korelasi hasil kalibrasi terbaik yaitu sebesar 0,99. Kesesuaian pola *runoff* yang terbentuk pada DAS Bedadung dapat dilihat pada **Gambar 13** di bawah ini.

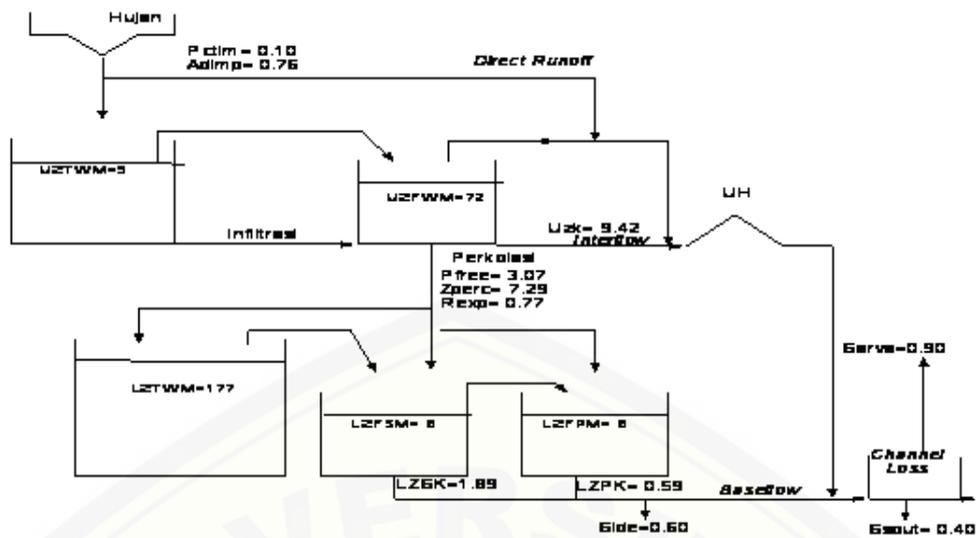


Gambar 13. Grafik *runOff* terukur dan terhitung hasil kalibrasi DAS Bedadung

Dari **Gambar 13** dapat dilihat bahwa grafik hasil kalibrasi hubungan antara *runoff* terukur dan terhitung sudah menunjukkan pola yang hampir sama. Ini berarti terdapat kesesuaian antara *runoff* terukur dan terhitung. Pada gambar juga dapat diketahui bahwa *runoff* terhitung relatif lebih tinggi daripada *runoff* terukur. Hal ini dapat terjadi karena model Sacramento tidak bisa mengidentifikasi kejadian di alam

secara teliti dan tepat misalnya terjadinya evapotranspirasi, infiltrasi, perkolasi dan juga pemanfaatan air oleh manusia, tumbuhan dan hewan.

Pada DAS Bedadung koefisien Nash sebesar 0,91 dengan koefisien korelasi hasil kalibrasi terbaik yaitu sebesar 0,99. Sehingga didapatkan kombinasi parameter yang optimal, seperti terlihat pada **Gambar 14** berikut ini.



Gambar 14. Struktur model Sacramento DAS Bedadung

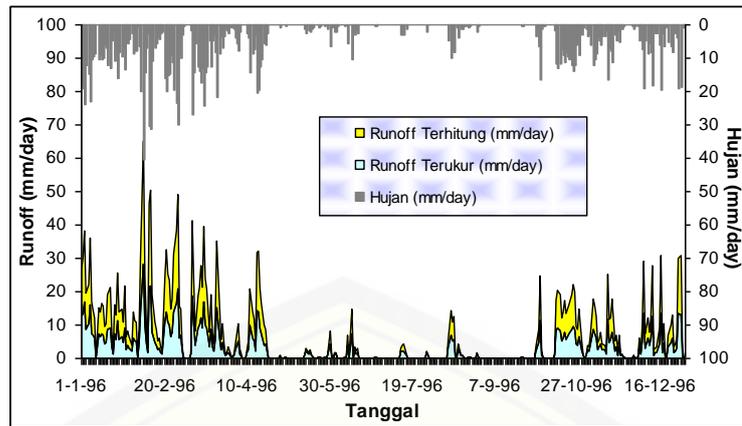
Hasil Validasi DAS Bedadung

Untuk mengevaluasi apakah parameter tersebut masih layak atau tidak untuk diterapkan pada periode-periode yang lain, maka dilakukan proses validasi. validasi dilakukan pada setiap tahun yaitu antara tahun 1996 sampai 2000 untuk mengetahui validasi yang terbaik pada tahun yang mana. Setelah dilakukan validasi maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 6.

Pada proses validasi diperoleh nilai Koefisien Nash sebesar 0,86 dan nilai koefisien korelasi sebesar 0,99. Nilai Koefisien Nash pada proses kalibrasi lebih tinggi dibandingkan yang diperoleh dari proses validasi, demikian halnya dengan koefisien korelasi dan bias. Bias hasil kalibrasi lebih rendah dibandingkan yang dihasilkan dari proses validasi. Perbandingan itu menunjukkan bahwa parameter tersebut lebih layak atau cocok digunakan dalam model.

Tabel 6. Pemilihan periode validasi DAS Bedadung

No.	Periode validasi	Nash	Korelasi
1.	1/1/96- 31/12/96	0,860	0,991
2.	1/1/97- 31/12/97	0,830	0,982
3.	1/1/98- 31/12/98	0,561	0,996
4.	1/1/99- 31/12/99	0,720	0,929
5.	1/1/00- 31/12/00	0,824	0,997



Gambar 15. Grafik *runoff* terukur dan terhitung hasil validasi DAS Bedadung

Dari **Gambar 15** di atas dapat diketahui bahwa pola grafik *runoff* terukur mempunyai kesesuaian dengan grafik *runoff* terhitung hasil validasi model. Ini berarti parameter yang diperoleh dari hasil validasi masih layak digunakan dalam proses validasi.

Perbandingan Hasil Kalibrasi dan Validasi

Perbandingan hasil kalibrasi

Hasil kalibrasi model Sacramento antara DAS Klopo Sawit dan DAS Bedadung mempunyai hasil yang berbeda. Perbedaan tersebut ditunjukkan dari nilai *koefisien korelasi* dan *koefisien Nash* yang diperoleh pada kedua DAS seperti pada **Tabel 7** berikut ini.

Tabel 7. Perbandingan kriteria statistik hasil kalibrasi

Kriteria Statistik	DAS Klopo Sawit	DAS Bedadung
Koefisien Nash	0,918	0,906
Koefisien Korelasi	0,968	0,997
Bias	11,11	8,11

Berdasarkan **Tabel 7** di atas dapat dilihat bahwa koefisien nash pada DAS Klopo Sawit lebih baik daripada koefisien nash pada DAS Bedadung. Ini berarti tingkat ketelitian dari korelasi hubungan antara yang terukur dan terhitung pada DAS Klopo Sawit masih lebih baik daripada DAS Bedadung. Koefisien korelasi DAS Bedadung lebih baik jika dibandingkan dengan DAS Klopo Sawit, ini berarti tingkat kesesuaian antara *runoff* terukur dengan *runoff* terhitungnya masih lebih baik pada

DAS Bedadung daripada DAS Klopo Sawit. Sedangkan nilai bias DAS Bedadung lebih kecil jika dibandingkan dengan DAS Klopo Sawit, hal ini menunjukkan bahwa selisih antara *runoff* terukur dan terhitung di DAS Bedadung setiap tahunnya lebih kecil dibandingkan DAS Klopo Sawit. Besarnya nilai parameter yang diperoleh dari hasil kalibrasi pada masing-masing DAS dapat dilihat pada **Tabel 8** berikut ini.

Tabel 8. Perbandingan nilai parameter hasil kalibrasi model sacramento pada DAS Klopo Sawit dan DAS Bedadung

Parameter	DAS Klopo Sawit	DAS Bedadung
ADIMP	1,27	0,76
LZFPM	6,0	6
LZFSM	2,09	6
LZPK	0,10	0,59
LZSK	3,57	1,89
LZTWM	220	177
PCTIM	0,10	0,10
PFREE	6,96	3,07
REXP	0,95	0,77
RSERV	0,30	0,30
SARVA	0,50	0,90
SIDE	0,60	0,60
SSOUT	0,10	0,40
UZFWM	44	72
UZK	7,24	9,42
UZTWM	7	5
ZPERC	4,3	7,29

Perbandingan Hasil Validasi
 Nilai koefisien Nash dan koefisien korelasi hasil validasi model Sacramento

pada DAS Klopo Sawit dan DAS Bedadung dapat dilihat pada **Tabel 9** berikut ini.

Tabel 9. Hasil validasi model berdasarkan nilai kriteria statistik

Kriteria Statistik	DAS Klopo Sawit	DAS Bedadung
<i>Koefisien Nash</i>	0,913	0,860
<i>Koefisien Korelasi</i>	0,989	0,991

Dari **Tabel 9** dapat kita ketahui bahwa hasil validasi pada DAS Klopo Sawit lebih baik daripada DAS Bedadung. Hal ini dapat dilihat dari nilai koefisien korelasi dan koefisien Nash yang diperoleh. Hal ini berarti tingkat ketelitian dari korelasi hubungan antara yang terukur dan terhitung pada DAS Klopo Sawit masih lebih baik daripada DAS Bedadung. Nilai koefisien korelasi pada DAS Bedadung sedikit lebih baik daripada DAS Klopo Sawit. Hal ini menunjukkan tingkat ketepatan antara runoff terukur dengan runoff terhitung DAS Bedadung sedikit lebih baik. Selain ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi dan koefisien Nash, hal ini juga dapat dilihat dari

kesesuaian pola antara runoff terukur dan runoff terhitung hasil validasi model.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut bahwa metode kalibrasi yang digunakan dalam model Sacramento ini adalah metode *generic* dan metode *manual*. Dengan menggunakan metode *generic* pada DAS Klopo Sawit didapatkan nilai koefisien Nash sebesar 0,89, koefisien korelasi sebesar 0,97 dan bias sebesar 11,11. Sedangkan jika menggunakan

metode *manual* akan diperoleh koefisien nash sebesar 0,92 dan koefisien korelasi sebesar 0,97. Metode kalibrasi *generic* pada DAS Bedadung menghasilkan nilai koefisien Nash sebesar 0,85, koefisien korelasi sebesar 0,99 dan bias sebesar 8,11. Sedangkan jika menggunakan metode *manual* akan diperoleh koefisien nash sebesar 0,91 dan koefisien korelasi sebesar 0,99.

Validasi model dengan metode *simple-sample test* DAS Klopo Sawit menghasilkan nilai koefisien Nash sebesar 0,91 dan koefisien korelasi sebesar 0,99. Sedangkan DAS Bedadung menghasilkan nilai koefisien Nash sebesar 0,86, koefisien korelasi sebesar 0,99.

Saran

Agar kalibrasi dan validasi yang dihasilkan bagus, maka hal pertama yang harus diperhatikan adalah kelengkapan data. Selain itu data yang ada harus sesuai, artinya antara hujan yang jatuh dan debit yang terbentuk harus memiliki pola yang sama. Oleh karena itu faktor data sangat penting sehingga harus dipilih data yang benar-benar sesuai untuk digunakan pada proses kalibrasi dan validasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (2002). Evaluasi Banjir DPS Sampean Kabupaten Situbondo dan Bondowoso, Laporan Akhir, Jember: Lembaga Penelitian Universitas Jember.
- Anonim (2002). Evaluasi Pengelolaan Sumberdaya Air Satuan Wilayah Sungai (SWS) Brantas. Laporan Akhir. Jember Lembaga Penelitian Universitas Jember.
- 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.
- Chow VT (1988). *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, Inc. New York.
- Dirjen Irigasi (1986). *Kriteria Perencanaan (KP 01)*. Bagian Perencanaan Bangunan Irigasi.
- 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
- Freeze RA (1974). *Mathematical Models of Hillslope Hydrology*. sec.6, dalam M. J. Kirkby (ed.): Hillslope Hydrology. Wiley. New York.
- Harto, Sri (1983). *Mengenal Dasar Hidrologi Terapan*. Biro penerbit KMTS. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Linsley, et al. (1996). *Hidrologi untuk Insinyur*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Martha J dan Adidarma W (1987). *Mengenal Dasar-Dasar Hidrologi*. Penerbit Nova, Bandung.
- Poerwidodo (1991). *Genesa Tanah : Batuan Pembentuk Tanah*. Edisi ke satu cetakan ke satu. Rajawali Pers. Jakarta.
- Podger G (2004). *Rainfall Runoff Library*. Department of Infrastruktur, Planning and Natural Resource. CRC for Catchment Hydrology. Australia.
- Refsgaard JS (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.
- Seyhan E (1990). *Dasar-dasar Hidrologi*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Soemarto (1989). *Hidrologi Teknik Edisi pertama*. Erlangga, Jakarta.
- Soemarto (1995). *Hidrologi Teknik Edisi ke-2*. Erlangga, Jakarta.
- Soesanto B dan Ernanda H (1991). *Pengantar Hidrologi*. Fakultas Pertanian Universitas Jember, Jember.

Soewarno (1991). *Hidrologi Aplikasi Statistik Untuk Pengolahan Data Aliran Sungai*. Penerbit Nova, Bandung.

Sosrodarsono dan Takeda K (1993). *Hidrologi Untuk Pengairan*. Cetakan kedelapan. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Sosrodarsono S dan Takeda K (1999). *Hidrologi untuk Pengairan*. PT. Pradnya Paramita Pradnya, Bandung.

Sudjana (2002). *Metoda Statistika*. edisi keenam. Penerbit Tarsito, Bandung.

Susanto Sahid (1996). *Prinsip Dasar dan Aplikasi Hidrologi*. Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Takeda (1993). *Hidrologi Untuk Pengairan*. Cetakan kedelapan. PT. Pradnya Paramita, Bandung

Todini E (1998). Rainfall-Runoff Modelling Post, Present and Future *Journal of Hydrology*. 100,141-352.

Wilson EM (1993). *Engineering Hydrology*. Mac Million and co Ltd, London.

