

# MODEL HIDROLOGI PRODUKSI AIR BULANAN BAGIAN I: KALIBRASI DAN ANALISIS KEPEKAAN

Lukman Hidayat<sup>\*)</sup>, Putu Sudira<sup>\*\*)</sup>, Sahid Susanto<sup>\*\*)</sup>

## ABSTRACT

In a hydrologic model, sensitivity analysis is essential in order to determine the importance of parameters on model outputs, and to explore more completely the validity of the model. The study focused on calibrating and the sensitivity analysis of hydrologic model parameters.

A monthly water yield model of rainfall-runoff relationship has been created in order to simulate runoff volumes. It was controlled by four parameters, those are:  $F_0$  (infiltration capacity, mm/hr),  $M_c$  (the moisture-holding capacity of the lower zone, mm),  $S_m$  (maximum possible seepage rate, mm/day), and  $\alpha$  (a constant defining the portion of seepage that appears as runoff).

An automatic parameter optimization routine was presented. Eleven small watersheds (less than 1000 square km) in Central Java were used for calibration.

The results of sensitivity analysis showed that the increasing value of  $F_0$  and  $M_c$  will be followed by the decreasing of model output (water yield). In contrast, the increasing value of  $S_m$  and  $\alpha$  will be followed by the increasing of model output.  $F_0$  more sensitive than  $M_c$ ,  $S_m$ , and  $\alpha$ .

Based on graphical and statistical criteria, the monthly water yield can be simulated well by the model.

## I. PENDAHULUAN

Berbagai model hidrologi telah dikembangkan yang pada dasarnya ingin mencoba untuk menyederhanakan sistem hidrologi yang sebenarnya. Hukum-hukum kekekalan massa, energi, dan momentum, serta hubungan empiris dijadikan dasar dalam membangun suatu model hidrologi (Viessman; dkk., 1977).

Di Indonesia model hidrologi seperti Stanford Watershed Model IV atau SWM IV (Crawford dan Linsley, 1966) dan Stream flow Synthesis and Reservoir Regulation Model atau SSARR (The US Army Engineering Division, 1972) telah diaplikasikan dan dimodifikasi, dan beberapa ahli hidrologi di Indonesia juga telah dan terus mengembangkan model hidrologi yang disesuaikan dengan watak hidrologi di wilayah

tropis (Susanto dan Kaida, 1991a,b,c; Sri Harto, 1985 dalam Susanto, 1993).

Dengan semakin terbatasnya wilayah pengembangan irigasi, akhir-akhir ini pemerintah juga telah mulai mengembangkan potensi air dari suatu DAS ukuran kecil, misalnya air yang tertampung dalam cekungan, embung atau lebung. Cekungan, embung atau lebung ini biasanya mempunyai daerah tangkapan kurang dari 1000 km<sup>2</sup>.

Dalam proses pengembangannya, pemanfaatan air dari DAS kecil ini tidak lepas dari analisis potensi volume airnya sebagai fungsi waktu. Namun, keadaan ini dihadapkan pada beberapa kendala.

Pertama, suatu kenyataan bahwa banyak DAS ukuran kecil tidak tersedia alat pengukur debit di titik penge-luarannya (tidak tersedia rekaman data debit secara kontinyu; kendala berikutnya, ketersediaan perangkat lunak yang mudah dimengerti dan dioperasikan oleh teknisi hidrologi tingkat menengah yang banyak berhadapan langsung dengan masalah potensi air dari DAS ukuran kecil.

Suatu model hidrologi (perangkat lunak) yang sederhana tetapi cukup dapat diandalkan ketepatannya dalam mengatasi kendala tersebut di atas segera perlu dikembangkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan suatu model hidrologi produksi air bulanan yang sederhana, dikemas dalam bentuk perangkat lunak (*software*), mudah dioperasikan, dan telah teruji keandalannya melalui proses optimasi parameter dan kalibrasi model, serta analisis kepekaan parameter.

Hasil penelitian diharapkan dapat dijadikan pedoman dalam menduga produksi air suatu DAS ukuran kecil, yang tidak tersedia alat pengukur debit di titik keluarannya.

## II. STRUKTUR MODEL

Model hidrologi yang dikembangkan oleh Haan (1972) dan telah dimodifikasi oleh Sudira (1989) dan Susanto (1993) dalam penerapannya di wilayah tropis, sengaja dipilih dalam penelitian ini. Pada dasarnya model ini

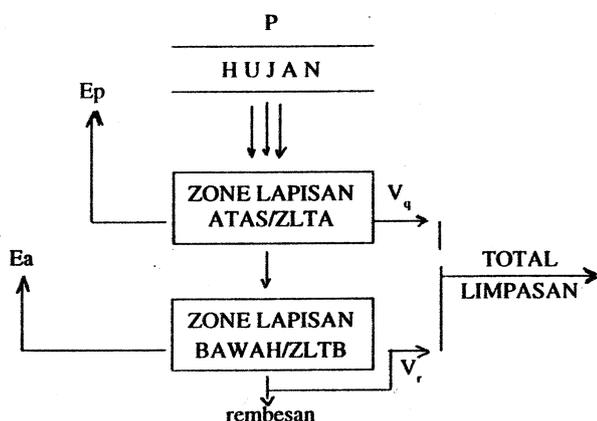
<sup>\*)</sup>Staf Pengajar Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu.

<sup>\*\*)</sup>Staf Pengajar Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada

merupakan model hidrologi hubungan hujan-limpasan bulanan yang menitik-beratkan analisisnya pada penyebab limpasan permukaan yang diakibatkan oleh perubahan lengas tanah pada mintakat (*zone*) lapisan atas dan bawah (Haan, 1972). Model tersebut mempunyai tujuan utama untuk mengetahui potensi air bulanan dari suatu DAS yang diukur di titik pengeluarannya. Evapotranspirasi potensial rata-rata dan hujan harian merupakan masukan model.

Dasar pertimbangan pemilihan model: (i) sederhana, karena hanya membutuhkan sedikit masukan, (ii) model mudah dioperasikan oleh pemakai tingkat menengah.

Secara skematis struktur model hidrologi yang digunakan digambarkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Struktur Model

Terdapat 6 komponen hidrologi yang diperhitungkan:

### 1. Evapotranspirasi, ET

Daerah kelengasan tanah yang ditinjau dibagi menjadi dua zone yaitu zone lapisan tanah atas (ZLTA) dan zone lapisan tanah bawah (ZLTB). Kapasitas tanah memegang air (KTMA) pada ZLTA ditentukan berdasarkan analisis fisik tanah yang diambil dari ZLTA. Nilai KTMA biasanya sekitar 25 mm ( $\approx$  1 inchi). Kadar lengas tanah pada zone ini  $M_u$  sangat responsif terhadap kehilangan air melalui ET, maksudnya, ET yang terjadi dalam zone ini sama dengan besarnya ET pada laju potensialnya. KTMA pada ZLTB adalah  $M_c$ . Kandungan lengas tanah,  $M_L$ , di zone ini adalah kurang dari besarnya lengas yang diperlukan untuk memenuhi permintaan ET. Dengan demikian, besarnya laju ET di zone ini kurang dari potensialnya. Evapotranspirasi terjadi pada laju potensialnya sepanjang lengas tanah tersedia. Lengas ini berkurang sebanding

dengan nisbah (*ratio*) jumlah lengas tersedia di ZLTB dengan nilai kapasitas memegang airnya. Pada hari-hari terjadi hujan, lengas akan berkurang oleh faktor  $k (= 2)$  yang disebabkan oleh karena dalam kondisi mendung dan radiasi matahari yang rendah.

Berdasarkan hal tersebut, ET ( $E_a$ , mm/hari) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_a = E_p \quad ; \quad V_p = 0 \quad 0 < M_u \leq 25 \quad \dots (2.1)$$

$$E_a = E_p \frac{M_L}{M_c} \quad ; \quad V_p = 0 \quad M_u = 0 \quad \dots (2.2)$$

$$E_a = \frac{1}{2} E_p \quad ; \quad V_p \geq 0.25 \quad 0 < M_u \leq 25 \quad \dots (2.3)$$

$$E_a = \frac{1}{2} E_p \frac{M_L}{M_c} \quad ; \quad V_p \geq 0.25 \quad M_u = 0 \quad \dots (2.4)$$

ET potensial,  $E_p$  (mm/hari) dihitung dengan metode Penman yang telah dimodifikasi oleh Wright-Jensen (1988) dalam (Sudira, 1989; Susanto, 1993).  $V_p$  = besarnya hujan yang terjadi pada hari yang ditinjau (mm).

### 2. Infiltrasi, F

Hujan yang jatuh ke permukaan bumi (tanah), sebagian akan terinfiltrasi masuk ke dalam tanah dan sebagian lagi akan menjadi limpasan permukaan. Laju infiltrasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F = F_o \quad ; \quad p \geq F_o \quad M_u < 25 \quad \text{atau} \quad M_L < M_c \quad \dots (2.5)$$

$$F = p \quad ; \quad p \leq F_o \quad M_u < 25 \quad \text{atau} \quad M_L < M_c \quad \dots (2.6)$$

$$F = 0 \quad ; \quad M_u = 25 \quad M_L = M_c \quad \dots (2.7)$$

$F_o$  adalah laju infiltrasi maksimum (mm/jam);  $p$  adalah laju presipitasi (mm/jam). Semua air yang terinfiltrasi akan disimpan di ZLTA sampai kapasitas infiltrasi terpenuhi. Setelah itu, tambahan air infiltrasi secara langsung (otomatis) akan masuk ke ZLTB. Semua hujan dianggap sama dengan limpasan permukaan setelah kapasitas menahan air di kedua zone tersebut telah tercapai.

### 3. Limpasan Permukaan, $V_o$

Limpasan permukaan (mm/hari) diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$V_Q = (p - F)t \quad \text{untuk } p > F \quad \dots (2.8)$$

$$V_Q = 0 \quad \text{untuk } p \leq F \quad \dots (2.9)$$

t adalah peningkatan waktu (jam)

#### 4. Rembesan Air (*Deep Seepage*), $S_e$

Jumlah atau besarnya *deep seepage*  $S_e$  (mm/hari) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$S_e = S_m \frac{ML}{Mc} \quad \dots (2.18)$$

$S_m$  adalah laju rembesan maksimum dalam satuan hari.

#### 5. Aliran Air yang Kembali Masuk ke Areal DAS yang Diperhitungkan (*return flow*), $V_r$

Jumlah  $V_r$  (mm/hari) dapat diperkirakan dengan rumus:

$$V_r = \alpha S_e \quad \dots (2.19)$$

$\alpha$  adalah tetapan yang mengendalikan air limpasan.

#### 6. Total Limpasan, $V_T$

Total aliran limpasan merupakan jumlah  $V_Q + V_r$

$$V_T = V_Q + V_r \quad \dots (2.20)$$

### III. ANALISIS KEPEKAAN

Analisis kepekaan dapat membantu menjelaskan sampai seberapa jauh peranan atau perilaku setiap parameter terhadap keluaran model (Dawdy dan Bergman, 1969; Osborn dan Lane 1982; Darmadi, 1984; Julien dan Ogdean, 1993).

Cara yang dilakukan oleh banyak peneliti di bidang hidrologi, dalam analisis kepekaan parameter model, adalah dengan mengamati perubahan-perubahan keluaran model setelah adanya perubahan nilai-nilai parameter, yang ditampilkan secara grafis.

Chopart dan Vauclin (1990) menyajikan dalam bentuk grafik hubungan antara % perubahan nilai parameter (X) dan % kesalahan nisbi keluaran model (Y).

Dari uraian di atas tersirat bahwa analisis kepekaan dilakukan bukan untuk mengukur interaksi antara parameter yang satu dengan lainnya, melainkan hanya ditujukan

untuk menilai peranan atau perilaku parameter model terhadap keluarannya; dengan kata lain, sampai seberapa jauh ketergantungan keluaran model terhadap masing-masing parameter.

### IV. PARAMETER MODEL

Terlihat dalam struktur model terdapat empat parameter yang mengendalikan kerja, yaitu:  $F_o$ ,  $S_m$ ,  $M_c$ , dan  $\alpha$ .

- $F_o$  = laju infiltrasi maksimum (mm/jam)
- $S_m$  = laju rembesan maksimum (mm/hari)
- $M_c$  = kandungan lengas tanah maksimum (kapasitas tanah memegang air) pada ZLTB (mm)
- $\alpha$  = konstanta atau tetapan yang mengendalikan sebagian air yang mengalir menjadi limpasan

### V. ASUMSI MODEL

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam model adalah:

1. Kondisi DAS tidak mengalami perubahan selama periode kegiatan kalibrasi.
2. Hujan yang diterima DAS bersifat seragam dalam ruang dan waktu.
3. Proses hidrologi (komponen hidrologi) yang dipertimbangkan dalam model, merupakan satu kesatuan yang utuh dari suatu sistem hidrologi.

### VI. CARA PENELITIAN

#### A. Pengumpulan Data

- 1) Pemilihan DAS kecil yang tersebar di Jawa Tengah dengan mempertimbangkan: a) luasnya relatif kecil (kurang dari 1000 km<sup>2</sup>), dan b) ketersediaan data yang diperlukan.
- 2) Pengumpulan, seleksi dan penyiapan data sebagai masukan model. Komponen hidrologi yang berupa data hujan dan debit aliran sungai harian dikumpulkan dari data yang telah dihimpun dalam bentuk laporan tahunan oleh Balai Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BTP DAS) Solo. Data anasir iklim, dikumpulkan dari stasiun meteorologi LANUD Adisumarmo Solo. Berdasarkan pada ketersediaan dan kelengkapan data, periode yang digunakan dalam kalibrasi tahun 1990 – 1992.
- 3) Pencirian karakter fisik DAS berdasarkan peta topografi dan tataguna lahan.

- 4) 11 DAS yang terpilih untuk kegiatan kalibrasi yaitu: DAS Duren, Tapan, Dumpul, Wader, Wungu, Plawatan, Goseng, Wuryantoro, Temon, Alang, dan DAS Keduang.

**B. Analisis Data**

1) Estimasi parameter dilakukan dengan cara optimasi, menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square*), yaitu meminimumkan jumlah simpangan jumlah kuadrat antara volume limpasan terukur dan prediksi. Estimasi nilai awal parameter didapatkan dengan cara coba-coba berdasarkan penelitian terdahulu. Nilai tersebut dimasukkan kedalam model, kemudian dilihat hasil keluarannya, secara berulang, kegiatan ini dilakukan sampai simpangan antara rata-rata nilai keluaran model (prediksi) dan nilai terukur adalah < 20%. Setelah nilai tersebut tercapai dilanjutkan dengan proses optimasi dengan cara memberi kisaran nilai (*increment*) pada nilai awal. Proses ini, secara otomatis (melalui sub program optimasi komputer) dilakukan berulang-ulang sesuai dengan keinginan (dalam penelitian ini dilakukan sampai 100 iterasi). Kemudian dilakukan kalibrasi model. Estimasi menggunakan data tahun 1990, sementara kalibrasi model menggunakan data periode 1990 – 1992.

Tolok ukur keberlakuan model dilakukan dengan cara membandingkan debit terukur dan prediksi dengan menggunakan kriteria grafis dan statistik (Haan; dkk, 1995).

Kriteria grafis yang digunakan adalah diagram pencar, dan seri waktu, sementara ukuran statistik memakai nilai kesalahan baku (*SE*), koefisien korelasi (*Ccr*), nilai koefisien kalibrasi (*Ccb*), dan nilai imbang massa (*MB*).

2) Analisis kepekaan parameter model dilakukan dengan cara mengamati perubahan-perubahan nilai keluaran model setelah adanya perubahan nilai-nilai parameter (optimal). Karena pada model ini terdapat empat parameter ( $F_o$ ,  $S_m$ ,  $M_c$ ,  $\alpha$ ), maka tahapan perubahan nilai parameter dilakukan sebagai berikut:

Parameter	Tahapan Perubahan Nilai Parameter			
	I	II	III	IV
$F_o$	*	X	X	X
$S_m$	X	*	X	X
$M_c$	X	X	*	X
$\alpha$	X	X	X	*

Keterangan: \* = diubah  
X = tetap

3) Kisaran perubahan parameter yang dipilih adalah +10%, +20% dari nilai optimal (lebih tinggi), dan -10%, -20% dari nilai optimal (lebih rendah). Penilaian kepekaan parameter dilakukan secara grafis, yaitu membandingkan simpangan relatif (ER, %) keluaran model terhadap perubahan bahan nilai dari masing-masing parameter (%).

$$ER = \frac{Q_{prdB} - Q_{prd}}{Q_{prd}} \times 100\%$$

dalam hal ini,

$Q_{prdB}$  = debit aliran sesudah adanya perubahan parameter

$Q_{prd}$  = debit aliran sebelum adanya perubahan parameter

**VII. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**A. Diskripsi Lokasi Penelitian**

Diskripsi masing-masing DAS terpilih, disajikan dalam Tabel 7.1.

Tabel 7.1. Diskripsi 11 DAS terpilih

DAS	Rincian Diskripsi DAS						
	A	H	T	K	M	D	B
Duren	163	34.30	44.20	21.50	0.063	2.976	2.394
Tapan	184	55.20	39.20	5.0	0.122	3.592	2.928
Dumpul	186	0.00	58.10	41.90	0.070	2.430	5.250
Wader	202	40.10	45.10	14.80	0.190	2.782	2.235
Wungu	203	4.30	86.70	9.00	0.185	5.192	1.729
Plawatan	261	3.50	84.50	12.00	0.050	3.847	1.792
Goseng	596	4.40	79.00	16.60	0.030	2.240	6.010
Wuryantoro	1.797	11.90	70.90	17.92	0.071	1.102	2.615
Temon	4.250	13.90	59.80	26.30	0.023	1.433	2.873
Alang	5.439	5.80	73.10	21.10	0.021	0.885	1.159
Keduang	35.993	14.50	49.20	36.30	0.045	1.377	1.837

Sumber: 1. BTP DAS Solo 1990 – 1992; 2. Analisis peta (ttgl, top)

Keterangan: A = Luas DAS (Ha)

H = Luas Hutan, %

T = Luas lahan pertanian (sawah dan tegalan), %

K = Luas lahan lainnya (kampung/desa, semak belukar), %

M = Kemiringan sungai, m/m

D = Kerapatan drainase, km/km<sup>2</sup>

B = Faktor bentuk, m/m

**B. Optimasi Parameter dan Kalibrasi Model**

Estimasi nilai parameter model dilakukan dengan cara optimasi menggunakan data tahun 1990. Kalibrasi

dilakukan pada 11 DAS menggunakan data periode tahun 1990 – 1992.

Nilai optimal parameter, hasil kalibrasi, dan tolok ukur keberlakuannya disajikan dalam Tabel 7.2, dan 7.3.

Tabel 7.2. Nilai optimal parameter model di 11 DAS terpilih

No.	Nama DAS	$S_m$ (mm/hr)	$M_c$ (mm)	$\alpha$	$F_0$ (mm/jam)
1	Duren	0.28	60	0.19	13.00
2	Tapan	0.30	56	0.19	1.80
3	Dumpul, II	0.28	56	0.20	1.90
4	Wader	0.30	61	0.18	1.96
5	Wungu	0.30	56	0.19	5.80
6	Plawatan	0.28	55	0.20	1.00
7	Goseng, I	0.30	61	0.18	0.86
8	Wuryantoro	0.30	56	0.19	5.40
9	Temon	0.30	56	0.19	16.00
10	Alang Ung.	0.30	56	0.19	28.00
11	Keduang	0.30	60	0.20	1.40

Parameter  $F_0$  pada dasarnya secara langsung dapat menjelaskan dinamika aliran atau lengas pada zone lapisan tanah atas (ZLTA). Kapasitas infiltrasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah kondisi tanaman penutup dan sebaran tataguna lahan, dengan memperhatikan sebaran tataguna lahan di lokasi penelitian yang cukup beragam, akan memberi peluang beragamnya nilai parameter  $F_0$ .

Parameter  $S_m$  dan  $\alpha$  dapat menjelaskan dinamika lengas pada zone lapisan tanah bawah (ZLTB), sementara, parameter  $M_c$  dapat digunakan untuk menjelaskan keragaman watak fisik tanah dalam menahan dan menyediakan lengas untuk proses dinamis dalam tanah.

Tabel 7.3. Rerata debit-debit bulanan terukur dan prediksi ( $m^3/dtk$ ), dan nilai tolok ukur keberlakuan model di 11 DAS terpilih tahun 1990 – 1992

No.	Nama DAS	Rerata Debit Bulanan		Tolok Ukur Keberlakuan Model			
		Terukur	Prediksi	(CCr)	(SE)	(CCb)	(MB)
1	Duren	0.89	0.92	0.90	0.37	0.42	0.030
2	Tapan	3.95	3.64	0.92	1.52	0.39	0.080
3	Dumpul, II	1.18	1.36	0.94	0.68	0.58	0.150
4	Wader	1.85	1.74	0.93	0.73	0.39	0.059
5	Wungu	2.81	2.97	0.98	0.33	0.12	0.057
6	Plawatan	4.14	4.05	0.98	0.97	0.23	0.020
7	Goseng, I	6.13	6.14	0.96	2.05	0.33	0.002
8	Wuryantoro	14.43	15.42	0.97	3.91	0.27	0.070
9	Temon	9.95	10.46	0.96	3.27	0.33	0.050
10	Alang Ung.	13.51	13.70	0.94	3.87	0.29	0.020
11	Keduang	844.88	847.59	0.95	259.20	0.31	0.003

Keterangan: CCr = Koefisien korelasi SE = Kesalahan baku  
CCb = Koefisien kalibrasi MB = Imbangan massa

Hasil kalibrasi model menunjukkan adanya kedekatan nilai antara debit terukur ( $Q_{obs}$ ) dengan debit dugaan ( $Q_{prd}$ ). Untuk mengetahui tingkat keandalan model maka dilaksanakan uji keberlakuan model yang menghasilkan nilai tolok ukur keberlakuan model seperti yang tersaji pada Tabel 7.3.

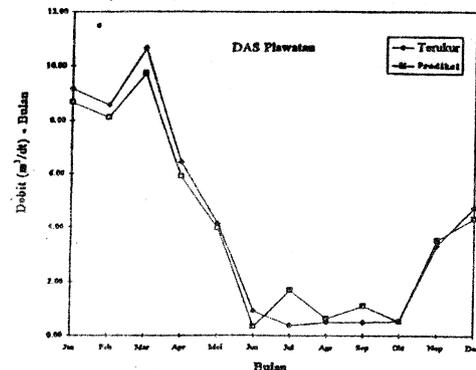
Nilai CCr memberikan penjelasan hubungan linearitas antara  $Q_{obs}$  dan  $Q_{prd}$ . Memperhatikan nilai CCr yang ditampilkan oleh model (0.90 – 0.98), dapat dinyatakan bahwa antara  $Q_{obs}$  dengan  $Q_{prd}$  menunjukkan hubungan linearitas hampir sempurna. Apabila dibandingkan dengan nilai  $CCr_{tab}$  dengan derajat kebebasan (*degrees of freedom*) 34 dan tingkat kemaknaan (*level of significant*) 5% [ $CCr_{(34), (0.05)}$ ] = 0.349, maka semua nilai  $CCr_{hit}$  lebih besar dari  $CCr_{tab}$ , sehingga dapat dikatakan bahwa model yang digunakan bermakna.

Namun demikian nilai CCr tinggi, tidak menjamin tingkat ketepatan model, melainkan hanya sebagai petunjuk adanya kecenderungan hubungan linear antara nilai terukur dan prediksi. Oleh sebab itu diperlukan tolok ukur yang lain yaitu SE, CCb, dan MB. Nilai SE, CCb, dan MB merupakan ukuran keberlakuan model yang lebih mengarah pada ketepatan atau akurasi model memprediksi nilai keluarannya.

Nilai SE yang ditampilkan oleh model menunjukkan nilai yang relatif kecil (0.33 – 0.68), namun pada beberapa DAS nilainya cukup tinggi (0.97 – 3.91), bahkan pada DAS Keduang nilainya mencapai 259,20. Hal ini mungkin terjadi karena DAS Keduang dengan luas 359,9  $km^2$  melewati batasan DAS kecil yang diberikan Haan (1972) sebesar 103  $km^2$ .

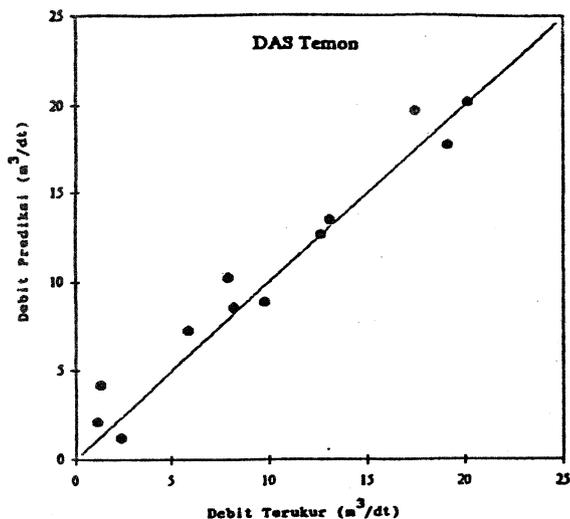
Nilai CCb dan MB yang ditampilkan oleh model pada 11 DAS lokasi penelitian relatif kecil, masing-masing (0.12 – 0.68) dan (0.002 – 0.15).

Di samping ukuran statistik, tolok ukur keberlakuan model didasarkan juga pada kriteria grafis. Memperhatikan ukuran grafis yang ditampilkan oleh model di 11 DAS lokasi penelitian, yang disajikan pada Gambar 7.1 (contoh),



Gambar 7.1. Grafik seri waktu rerata debit bulanan terukur dan prediksi ( $m^3/dt$ ) hasil kalibrasi di DAS Plawatan, Tahun 1990 – 1992

menunjukkan bahwa, debit ( $m^3/dtk$ ) per bulan (dengan catatan, jumlah hari dalam setiap bulan sesuai dengan bulan yang bersangkutan, misalnya Februari = 28 hari), posisinya antara  $Q_{obs}$  dengan  $Q_{prd}$  berdekatan, hal ini memberi pengertian bahwa kecenderungan perubahan  $Q_{obs}$  dan  $Q_{prd}$  peluangnya sama. Berdasarkan diagram pencar rerata debit bulanan terukur dan prediksi di 11 DAS (Gambar 7.2., contoh), ditemukan adanya kecenderungan  $Q_{prd} > Q_{obs}$ .



Gambar 7.2. Diagram pencar rerata debit bulanan terukur dan prediksi ( $m^3/dtk$ ) DAS Temon

Kecenderungan ini ditemukan pada 8 DAS, sementara kecenderungan  $Q_{prd} < Q_{obs}$  hanya ditemukan pada 3 DAS.

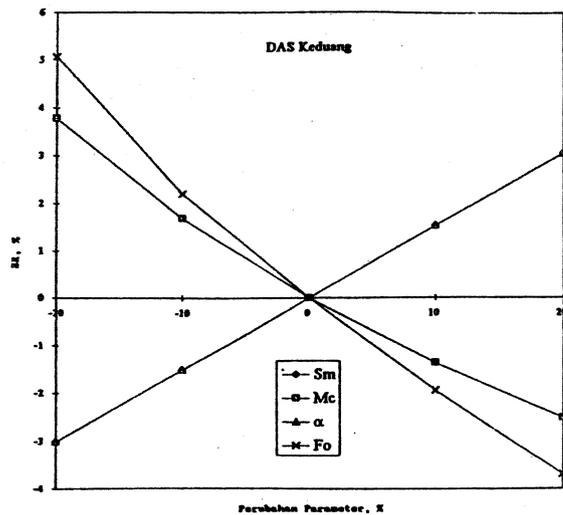
Berdasarkan tolok ukur keberlakuan model yang didasarkan pada ukuran atau kriteria statistik dan grafis, kinerja atau keandalan model dalam memprediksi produksi air bulanan di titik pengeluarannya cukup dapat diterima.

### C. Analisis Kepekaan

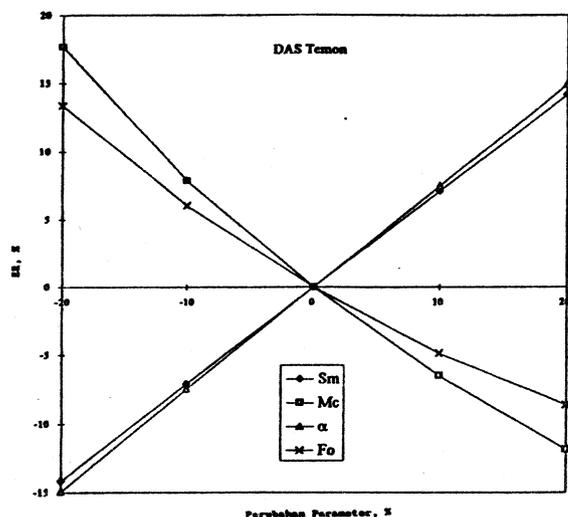
Secara grafis, nilai simpangan, ER ditampilkan sebagai ordinat (sumbu Y), sementara perubahan nilai parameter sebagai absis (sumbu X). Untuk memahami hal tersebut, sebagai contoh, pada Gambar 7.3. dan 7.4., disajikan gambaran secara grafis pengaruh perubahan parameter (%) terhadap keluaran model (ER).

Hasil dari analisis kepekaan di 11 DAS memberikan beberapa gambaran yaitu:

- 1) Parameter  $M_c$  dan  $F_0$  di satu sisi, serta  $S_m$  dan  $\alpha$  di sisi lain, memberikan pengaruh yang berlawanan terhadap besar kecilnya keluaran model (debit). Kenaikan nilai  $M_c$  dan  $F_0$  akan diikuti oleh penurunan nilai debit, sehingga nilai simpangan (ER) negatif, begitu juga sebaliknya. Di pihak lain, kenaikan nilai  $S_m$  dan  $\alpha$  akan diikuti juga oleh kenaikan debit, sehingga nilai ER positif, begitu juga sebaliknya.



Gambar 7.3. Grafik pengaruh perubahan parameter (%) terhadap keluaran model (ER, %) di DAS Keduang, Tahun 1990 - 1992



Gambar 7.4. Grafik pengaruh perubahan parameter (%) terhadap keluaran model (ER, %) di DAS Temon, Tahun 1990 - 1992

- 2) Parameter  $F_0$  lebih peka daripada  $M_c$  di 8 DAS dari 11 DAS yang diuji (Duren, Tapan, Dumpul, Wader, Plawatan, Goseng, Wuryantoro, dan Keduang). Pada 3 DAS yang lain (Wungu, Temon dan Alang) parameter  $M_c$  lebih peka.
- 3) Perubahan nilai parameter  $S_m$  dan  $\alpha$  pengaruhnya sama terhadap keluaran di 8 DAS (Duren, tapan, Dumpul, Wader, Wungu, Plawatan, Goseng, dan Keduang). Di 3 DAS (Wuryantoro, Temon, dan Alang)  $\alpha$  lebih peka daripada  $S_m$ .
- 4) Sifat atau perilaku  $F_0$  lebih peka dibanding parameter  $M_c$ ,  $S_m$ , dan  $\alpha$ .

Berdasarkan hal tersebut di atas, analisis kepekaan di 11 DAS lokasi penelitian, yang menyangkut watak atau karakter parameter, khususnya  $F_0$ , apabila dikaitkan dengan nilai karakteristik DAS yang diperhitungkan, dapat dijadikan sebagai masukan dalam mengoptimalkan pengelolaan sumber daya air (DAS).

## VIII. KESIMPULAN

### A. Kesimpulan

1. Parameter model yang digunakan, untuk memprediksi debit aliran sungai bulanan di titik keluarannya, pada 11 DAS lokasi penelitian dapat diestimasi.
2. Berdasarkan pada tingkat keberlakuan model yang ditampilkan dalam bentuk grafis dan ukuran statistik, produksi air DAS antara terukur dan prediksi, hasil kalibrasi model cukup dapat diterima.
3. Analisis kepekaan menemukan bahwa antara parameter  $M_c$  dan  $F_0$  di satu pihak mempunyai karakter yang berlawanan dengan parameter  $S_m$  dan  $\alpha$  di pihak lain. Kenaikan Nilai  $M_c$  dan  $F_0$  akan diikuti oleh penurunan nilai keluaran model, begitu juga sebaliknya.
4. Memperhatikan tingkat keberlakuan model, bentuk yang cukup sederhana, kemantapan estimasi parameter, dan analisis kepekaan, model hidrologi yang diajukan sangat berdayaguna dalam memprediksi produksi air bulanan pada banyak DAS kecil di Indonesia yang tidak punya alat pengukur debit di titik pengeluarannya.
5. Pemakaian secara luas model hidrologi tersebut perlu dilakukan dengan hati-hati mengingat beberapa keterbatasan yang ada, yaitu: bersifat setempat, dan prediksi model hanya menghasilkan volume atau potensi aliran sungai bulanan (debit) di titik keluaran suatu DAS yang ditinjau, tanpa dapat diketahui proses aliran (routing) yang terjadi.

## DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 1990 – 1992. *Laporan Tahunan BTP DAS Solo*.

\_\_\_\_\_. 1990 – 1992. *Data-data Klimatologi Stasiun Meteorologi Lanud Adisumarmo Solo*.

Chopart, J.L. dan Vauclin, M. 1990. *Water balance Estimation Model: Field Test and Sensitivity Analysis*. Soil Sci.Soc.Am.J. 54: 1377 – 1384.

Darmadi, 1984. *Model Hidrograf Muson Tropik-1. Studi Kasus di DAM Sampean Baru, JATIM*. Tesis S-2. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (Tidak dipublikasikan).

Dawdy, D.R. dan Bergman, J.M. 1969. *Effect of Rainfall Variability On Streamflow Simulation*. Water Res.Res 5(5): 958 – 966.

Haan, C.T. 1972. *A Water Yield Model for Small Watersheds*. Water Res.Res 3(1): 58 – 69.

\_\_\_\_\_, B. Allerd, D.E. Storm, G.J. Sabbagh, and S. Prabhu. 1995. *Statistical Procedure For Evaluating Hydrologic/Water Quality Models*. Trans ASAE Vol. 38(3): 725 – 733.

Julien, J. Pierre, and Fred L. Ogden. 1993. *Runoff Sensitivity and Spatial Rainfall Variability at Runoff Plane and Small Basin Scales*. Water Res.Res 29(8): 2589 – 2597.

Osborn, H.B. dan Lane, L.J. 1982. *Precipitacion*. In: Hydrologic Modelling of Small Watersheds, Edited By C.T. Haan dkk. 1982 pp. 19 – 78. ASAE Michigan.

Singh, V.P. 1989. *Hydrologic System. Vol. II. Watershed Modelling*. Printice Hall, Inc. New Jersey.

Sudira, Putu. 1989. *Runoff Prediction Model Based On Soil Moisture Analysis*. Disertasi PhD, Univ. Of Philippines di Los Banos, Philippines (Unpublish).

Susanto, Sahid dan Kaida Y. 1991. *Tropical Hidrology Simulation Model-1 For Watershed Management: Part I. Model Building*. J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour., 4(2): 43 – 53.

\_\_\_\_\_, 1991. *Tropical Hidrology Simulation Model-1 For Watershed Management: Part II. Model Application To The Kali Progo River Basin, Central Java, Indonesia*. J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour., 4(2): 43 – 53.

\_\_\_\_\_, 1991. *Tropical Hidrology Simulation Model-1 F1 For Watershed Management: Part III. Using Trophysim-1 For Watershed Management*. J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour., 4(2): 43 – 53.

Susanto, Sahid. 1993. *Perkiraan Hasil Air Bulanan Dengan Model Hubungan Hujan-Limpasan*. Lembaga Penelitian UGM, Yogyakarta.

Viessman, W.JR., J.W. Knap., G.L. Lewis, dan T.E. Harbough. 1977. *Introduction To Hydrology*. Harper and Row, Publisher, New York.

Woolhiser, D.A. dan Brakensiek, D.L. 1982. *Hydrologic System Synthesis*. In: Hydrologic Modelling Of Small Watersheds, Edited By C.T. Haan dkk. 1982 pp. 3 – 16. ASAE Michigan.