

## Analisis Perhitungan Evapotranspirasi Aktual Terhadap Perkiraan Debit Kontinyu dengan Metode Mock

**Cita Adiningrum**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik  
Universitas Atma Jaya Yogyakarta  
e-mail: cita\_adiningrum@mail.uajy.ac.id

**Abstract:** In Mock Model, evapotranspiration is an important component and treated as hydrologic losses because it will reduce amount of water in water bodies, soil, and plants that give a large proportion for total discharge. Actual evapotranspiration refer to measured crop evapotranspiration under limited water condition for growing. Some equations were developed to calculate actual evapotranspiration, two of which are equation from the report based on the work of Dr. F.J. Mock in 1973 (AET) and equation from FAO guidelines No. 56 in 1990 ( $ET_c$ ). In this study, Mock Model is divided into two models based on actual evapotranspiration equations used: Mock I is Mock Model using Equation I (AET) and Mock II is Mock Model using Equation II ( $ET_c$ ). Further, the result of both Mock Model will be compared to determine the performance for each model using measured flow data. Research conducted at three watershed includes Bedog watershed, Code watershed, and Winongo watershed. The test of accuracy using coefficient of correlation (R), volume difference (VE), and coefficient of efficiency (CE). From the result for Bedog watershed indicate that Mock II is better with  $R > 0,81$ ,  $VE = -14,273\%$ , and  $CE > 0,66$ . For Code watershed, both models, Mock I and Mock II have a good performance with  $R > 0,80$ ,  $VE < 2,8\%$ , and  $CE > 0,65$ . For Winongo watershed, the result show that Mock II is better with  $R > 0,78$ ,  $VE \leq 5\%$ , and  $CE > 0,60$ . In general it can be concluded that Mock II is better than Mock I and also actual evapotranspiration Equation II ( $ET_c$ ) is better at predicting losses of water.

**Keywords:** Mock Model, actual evapotranspiration, AET,  $ET_c$ .

**Abstrak:** Dalam Model Mock, evapotranspirasi merupakan komponen penting karena proses hilangnya air akibat evapotranspirasi dapat mengurangi simpanan air dalam badan-badan air, tanah, dan tanaman yang memberikan proporsi yang besar untuk terjadinya debit. Evapotranspirasi aktual menunjukkan nilai evapotranspirasi yang sesungguhnya dengan kondisi air yang terbatas. Beberapa persamaan dikembangkan untuk menghitung besarnya evapotranspirasi aktual, dua di antaranya adalah persamaan dalam makalah Dr. F.J. Mock tahun 1973 (AET) dan persamaan dalam pedoman FAO No. 56 tahun 1990 ( $ET_c$ ). Dalam studi ini, Model Mock dibagi menjadi dua berdasarkan persamaan evapotranspirasi aktual yang digunakan: Mock I adalah Model Mock dengan Persamaan I (AET), sedangkan Mock II adalah Model Mock dengan Persamaan II ( $ET_c$ ). Selanjutnya akan dibandingkan unjuk kerja kedua Model Mock menggunakan data debit terukur. Penelitian dilakukan pada tiga DAS yang meliputi DAS Bedog, DAS Code, dan DAS Winongo. Pengujian ketelitian model menggunakan parameter koefisien korelasi (R), selisih volume (VE), dan koefisien efisiensi (CE). Dari hasil analisis untuk DAS Bedog menunjukkan bahwa Mock II lebih baik dengan  $R > 0,81$ ,  $VE = -14,273\%$ , dan  $CE > 0,66$ . Sedangkan untuk DAS Code, kedua model memiliki unjuk kerja yang baik dengan  $R > 0,80$ ,  $VE < 2,8\%$ , dan  $CE > 0,65$ . Untuk DAS Winongo, diperoleh bahwa Mock II lebih baik dengan  $R > 0,78$ ,  $VE \leq 5\%$ , dan  $CE > 0,60$ . Secara umum dapat disimpulkan bahwa Mock II lebih baik dari Mock I dan evapotranspirasi aktual Persamaan II ( $ET_c$ ) lebih baik dalam memperkirakan besarnya kehilangan air.

**Kata kunci:** Model Mock, evapotranspirasi aktual, AET,  $ET_c$ .

### PENDAHULUAN

Analisis ketersediaan air terkait debit kontinyu (debit yang selalu tersedia di sungai) membutuhkan data debit dalam rentang periode yang panjang sementara kondisi yang dihadapi ketersediaan data debit sangat minim. Pembangunan data debit dapat dilakukan

dengan model hujan-aliran (*rainfall-run off model*), salah satunya adalah Model Mock. Model Mock relatif sederhana dan telah dikembangkan di Indonesia (Mock, 1973). Besarnya parameter-parameter model perlu dioptimasi secara otomatis dengan bantuan *Solver* di perangkat lunak *Microsoft Excel* (Nurrochmad et.al, 1998).

Di dalam model Mock, besaran evapotranspirasi penting karena menjadi faktor penentu kedua dalam perkiraan debit aliran setelah hujan di mana akan menjadi pengurang besaran hujan yang nantinya menjadi limpasan. Dari penelitian terkait Model Mock yang pernah dilakukan menunjukkan bahwa perhitungan evapotranspirasi aktual dalam model kurang menggambarkan kondisi sesungguhnya sehingga perlu informasi tambahan terkait tata guna lahan di daerah studi (Nurrochmad et.al, 1998). Beberapa penelitian menggunakan persamaan yang berbeda untuk menghitung besarnya evapotranspirasi aktual. Evapotranspirasi aktual dapat diandaikan sebagai kebutuhan konsumtif tanaman ( $ET_c$ ) yang nilainya diperoleh dari hasil pembobotan terhadap nilai evapotranspirasi acuan ( $ET_o$ ). Adapun bobot tersebut berupa koefisien tanaman (Allen et.al, 1990; Sukirno et.al, 2010). Evapotranspirasi aktual juga dapat dihitung dengan persamaan yang merupakan fungsi persentase lahan terbuka atau tidak tertutup tumbuhan hijau dan jumlah hari hujan di bulan bersangkutan (Mock, 1973).

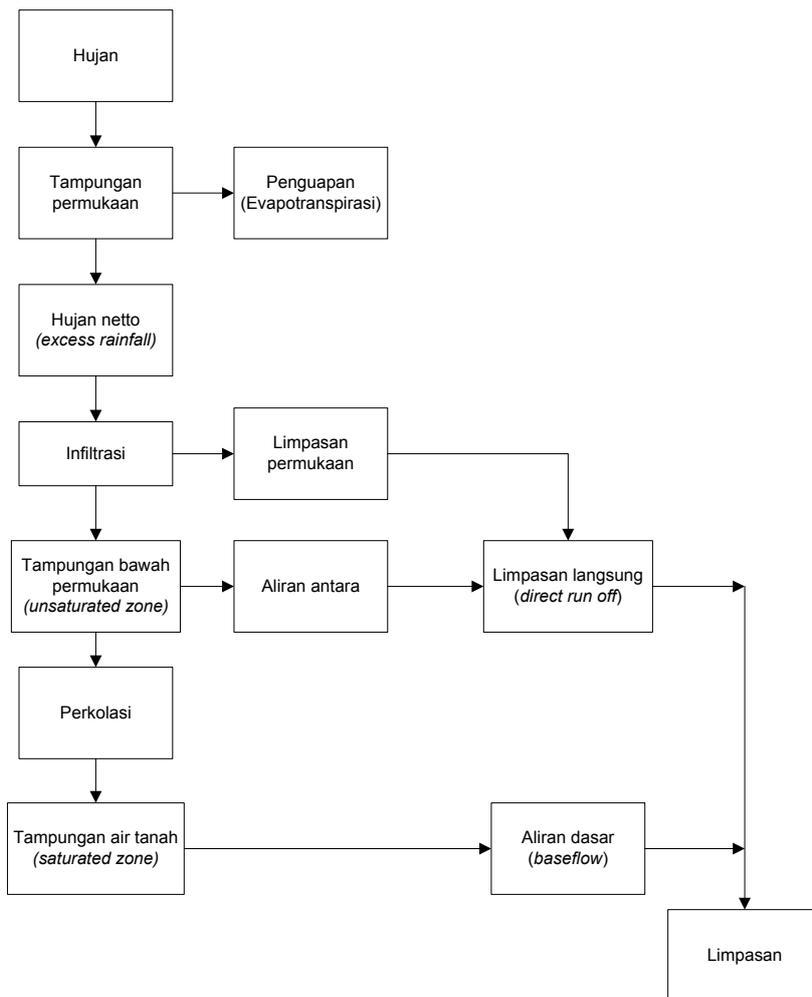
Tujuan penelitian ini adalah membandingkan hasil simulasi debit aliran menggunakan Model Mock yang mana di dalam perhitungan evapotranspirasi aktual menggunakan dua persamaan yang berbeda. Persamaan evapotranspirasi aktual pertama sesuai dengan makalah Dr. F.J Mock tahun 1973. Persamaan tersebut membutuhkan nilai persentase lahan yang tidak ditutupi tumbuhan hijau di mana nilainya akan tergantung oleh musim. Sedangkan persamaan evapotranspirasi aktual kedua berdasarkan pedoman yang dikeluarkan oleh FAO tahun 1990. Di dalam persamaan tersebut dibutuhkan nilai koefisien tanaman yang nilainya akan bervariasi untuk tiap jenis tanaman dan tiap fase pertumbuhan tanaman. Adapun daerah studi yang digunakan meliputi tiga DAS yang ada di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu DAS Bedog, DAS Code, dan DAS Winongo. Hasil simulasi ketiga DAS kemudian dibandingkan sehingga dapat dilihat unjuk kerja kedua persamaan evapotranspirasi aktual dalam menghitung kehilangan air yang akan mempengaruhi besarnya debit aliran. Berdasarkan hasil tersebut, dalam penerapan Model Mock selanjutnya dapat digunakan persamaan evapotranspirasi aktual yang lebih sesuai dengan kondisi di lapangan.

## KAJIAN PUSTAKA

### Neraca Air Model Mock

Model Mock dikembangkan oleh Dr. F.J. Mock di tahun 1973 dengan konsep neraca air. Komponen-komponen proses dalam model ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu hujan dan evapotranspirasi, keseimbangan air di permukaan tanah, dan tampungan air tanah (Mock, 1973). Model Mock merupakan jenis *lumped model*, yaitu model yang tidak memperhitungkan variabilitas ruang baik variabel masukan maupun parameter sistem DAS (dalam Sri Harto, 2000).

Variabel masukan model yaitu hujan berupa hujan rata-rata DAS. Penguapan atau evaporasi dapat terjadi dari semua permukaan yang mengandung air, yaitu permukaan air pada tampungan permukaan (*depression storage*, danau, dan rawa), permukaan tanah, permukaan tanaman dan yang tertutup tanaman. Karena pengertian penguapan juga termasuk transpirasi dari tanaman, istilah gabungan keduanya disebut sebagai evapotranspirasi. Hujan yang dikurangi evapotranspirasi disebut sebagai besaran hujan lebihan (*excess rainfall*). Selanjutnya di permukaan tanah terjadi proses 'pembagian' hujan lebihan menjadi bagian limpasan permukaan dan bagian yang mengalami infiltrasi. Proses aliran di dalam tanah pertama-tama terjadi di dalam lapisan tidak kenyang air (*zone of aeration*) yang kemudian diteruskan ke lapisan yang lebih dalam yaitu lapisan kenyang air (*zone of saturation*). Keberadaan air di lapisan tidak kenyang air berkaitan dengan besarnya kelengkapan tanah yang menunjukkan jumlah kandungan air di dalam pori-pori tanah. Di zona ini juga terjadi aliran lateral yang sering disebut sebagai aliran antara (*interflow*). Perhitungan aliran antara di dalam Model Mock digabung dengan limpasan permukaan dan disebut sebagai limpasan langsung (*direct run off*). Gerakan aliran vertikal atau perkolasi akan mencapai lapisan kenyang air. Selanjutnya aliran air di dalam lapisan ini disebut aliran dasar (*baseflow*) atau aliran air tanah. Pada akhirnya, gabungan antara limpasan langsung dan aliran dasar akan menjadi aliran di sungai. Secara sistematis struktur Model Mock dapat diilustrasikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi struktur Model Mock

## Parameter Hidrologi dalam Model Mock

### Hujan

Masukan dalam Model Mock yang paling dominan adalah hujan yang diolah menjadi hujan rata-rata bulanan atau tengah bulanan.

### Evapotranspirasi

Menurut Direktorat Pengairan dan Irigasi (2006), besaran evapotranspirasi dibagi menjadi dua: (a) Evapotranspirasi acuan, disimbolkan dengan  $ET_o$ , merupakan besarnya evapotranspirasi dengan jumlah air yang tersedia tidak terbatas untuk memenuhi pertumbuhan optimum atau evapotranspirasi dari permukaan tanaman acuan yang tumbuh dengan pengairan yang cukup. Definisi tanaman acuan adalah rumput hijau dengan asumsi tinggi 0,12 m, mempunyai *fixed surface resistance*  $70 \text{ s m}^{-1}$ , dan koefisien albedo 0,23. Di dalam *FAO Irrigation and Drainage Paper No.56 Tahun 1990* terdapat metode FAO

Penman-Monteith untuk perhitungan  $ET_o$  dengan persamaan seperti dalam Persamaan (1). (b) Evapotranspirasi aktual adalah besarnya evapotranspirasi dengan kondisi pemberian air terbatas untuk memenuhi pertumbuhan. Dalam penelitian ini digunakan dua persamaan untuk menghitung besarnya evapotranspirasi aktual. Persamaan pertama berdasarkan makalah yang disusun oleh Dr. F.J. Mock dengan judul “Land Capability Appraisal Indonesia – Water Availability Appraisal, UNDP/FAO, Bogor 1973”. Persamaan kedua berdasarkan pedoman *FAO Irrigation and Drainage Paper No.56 Tahun 1990*, di mana evapotranspirasi aktual merupakan evapotranspirasi tanaman spesifik (*crop*) yang besarnya berbeda-beda antara tanaman satu dengan yang lain tergantung dari nilai koefisien tanamannya ( $K_c$ ).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Dengan  $ET_o$  adalah evapotranspirasi acuan (mm/hari),  $R_n$  adalah radiasi *netto* pada permukaan tanaman ( $MJ/m^2/hari$ ),  $G$  adalah *soil heat flux density* ( $MJ/m^2/hari$ ),  $T$  adalah temperatur rata-rata harian pada ketinggian 2 m ( $^{\circ}C$ ),  $u_2$  adalah kecepatan angin pada ketinggian 2 m (m/s),  $e_s$  adalah *saturation vapour pressure* (kPa),  $e_a$  adalah *actual vapour pressure* (kPa),  $e_s - e_a$  adalah *saturation vapour pressure deficit* (kPa),  $\Delta$  adalah kemiringan dari kurva tekanan uap air ( $kPa/^{\circ}C$ ),  $\gamma$  adalah tetapan psikrometrik ( $kPa/^{\circ}C$ ), 0,408 adalah faktor konversi satuan dari ( $MJ/m^2/hari$ ) menjadi (mm/hari).

Evapotranspirasi aktual persamaan I (AET) menggunakan pendekatan dengan menghitung E seperti pada Persamaan (2). Nilai E tergantung dari jumlah hari kering (d) atau jumlah hari hujan (n) dan asumsi variasi *exposed surface* (m) atau permukaan yang tidak ditutupi tumbuhan hijau untuk setiap bulannya. Nilai "m" untuk berbagai kriteria daerah dan musim disarankan menggunakan Tabel 1.

$$E = ET_o \left( \frac{m}{20} \right) (18 - n) \tag{2}$$

Evapotranspirasi aktual persamaan I dihitung dengan persamaan berikut.

$$AET = ET_o - E \tag{3}$$

Evapotranspirasi aktual persamaan II ( $ET_c$ ) didekati dengan Persamaan (4) berikut ini.

$$ET_c = K_c \times ET_o \tag{4}$$

Nilai  $K_c$  menjadi faktor pembobot besarnya  $ET_c$  terhadap  $ET_o$  sekaligus pembeda karakteristik tanaman spesifik dengan tanaman hipotetik (rumput hijau). Perubahan karakteristik setiap tanaman selama tahap pertumbuhannya akan

menyebabkan nilai  $K_c$  berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dalam Gambar 2, tahap pertumbuhan tanaman dibagi menjadi empat tahap, yaitu tahap awal (*initial*), tahap perkembangan (*crop development*), tahap pertengahan musim (*mid-season*), dan tahap akhir musim (*late season*). Sedangkan nilai  $K_c$  dibagi menjadi tiga, yaitu  $K_{c\ ini}$ ,  $K_{c\ mid}$ , dan  $K_{c\ end}$ . Perhitungan  $K_{c\ mid}$  dan  $K_{c\ end}$  berturut-turut menggunakan Persamaan (5) dan (6).

$$K_{c\ mid} = K_{c\ mid(Tabel)} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(RH_{min} - 45)] \left( \frac{h}{3} \right)^{0,3} \tag{5}$$

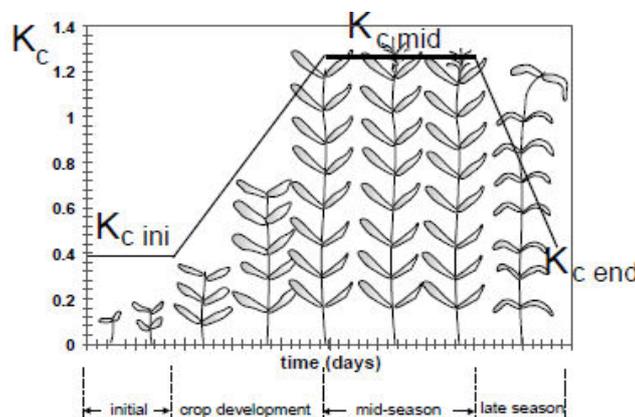
$$K_{c\ end} = K_{c\ end(Tabel)} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(RH_{min} - 45)] \left( \frac{h}{3} \right)^{0,3} \tag{6}$$

Dengan  $K_{c\ mid(Tabel)}$  dan  $K_{c\ end(Tabel)}$  diambil dari Tabel  $K_c$  sesuai pedoman FAO No.56/1990,  $u_2$  adalah kecepatan angin rerata harian pada ketinggian 2 m (m/s),  $RH_{min}$  adalah kelembaban relatif minimum rerata harian (%), h adalah tinggi maksimum tanaman (m).

Tabel 1. Exposed surface (m)

Daerah	Exposed surface, m (%)	
	Akhir musim hujan	Musim kemarau
Hutan	0	0
Daerah hijau	0	Bertambah 10% per bulan selama musim kemarau
Daerah tererosi	10 – 40%	Bertambah 10% per bulan selama musim kemarau
Daerah ladang pertanian	30 – 50%	Bertambah 10% per bulan selama musim kemarau

(Sumber: Mock, 1973)



Gambar 2. Perubahan nilai  $K_c$  selama tahap pertumbuhan tanaman (Sumber: Allen et.al, 1990)

### Aliran Permukaan

Pembentuk aliran permukaan adalah komponen (a) *excess rainfall* (ER), (b) *water surplus* (WS), (c) infiltrasi, (d) *direct run off* (DRO), dan (e) *storm run off* (SRO). *Excess rainfall* atau hujan lebih adalah hujan *netto* yang sudah dikurangi dengan kehilangan air akibat evapotranspirasi seperti dalam Persamaan (7).

$$ER_i = P_i - AET_i \text{ atau } ER_i = P_i - ET_c \quad (7)$$

Dengan  $ER_i$  adalah *excess rainfall* (mm/bln),  $P_i$  adalah hujan (mm/bln),  $AET_i$  atau  $ET_c$  adalah evapotranspirasi aktual (mm/bln). *Subscript* “i” menunjukkan besarnya komponen bulan ini.

Hujan lebih cenderung akan mengisi kelembaban tanah (*soil moisture*) terlebih dahulu sebelum nantinya menjadi *water surplus* atau kelebihan air yang dihitung dengan Persamaan (8). Setelah kelembaban tanah terpenuhi, WS akan bergerak ke lapisan tanah lebih dalam atau disebut sebagai perkolasi.

$$WS_i = ER_i - SS_i \quad (8)$$

Dengan  $WS_i$  adalah kelebihan air (mm/bln),  $SS_i = SM_i - SM_{i-1}$  adalah tampungan air yang mengisi pori-pori tanah (mm/bln), merupakan selisih antara kelembaban tanah bulan ini dan bulan sebelumnya. SS dapat bernilai negatif atau positif. Jika SS bernilai negatif berarti besarnya SM (*soil moisture*) bulan ini lebih kecil daripada bulan sebelumnya dan biasanya terjadi di saat musim kemarau. Besarnya SM dapat dihitung dengan Persamaan (9).

$$SM_i = SM_{i-1} + ER_i \quad (9)$$

Dengan  $SM_i$  adalah *soil moisture* pada bulan ini (mm/bln),  $SM_{i-1}$  atau ISM adalah *Initial Soil Moisture* atau *soil moisture* pada bulan sebelumnya (mm/bln). SM tidak bernilai negatif dan jika nilai SM lebih besar dari SMC (*Soil Moisture Capacity* atau kapasitas lapangan), maka  $SM_i = SMC$ , sehingga kisaran nilainya adalah  $0 \leq SM_i \leq SMC$ . Oleh karena besarnya WS sangat tergantung pada besarnya jumlah air yang terkandung dalam tanah, maka WS akan sama dengan nol jika SS pada bulan bersangkutan bernilai negatif. Jika  $WS = 0$  maka tidak akan terjadi proses infiltrasi.

Infiltrasi merupakan air yang telah mengisi *moisture* tanah dan kemudian mengalir vertikal mencapai lapisan kenyang air.

$$I_i = WIC \times WS_i \text{ atau } I_i = DIC \times WS_i \quad (10)$$

Dengan  $I_i$  adalah infiltrasi (mm/bln), WIC adalah koefisien infiltrasi saat musim hujan (-), DIC adalah koefisien infiltrasi saat musim kemarau (-). Nilai WIC dan DIC didasarkan pada kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran. Saat musim kemarau, nilai koefisien infiltrasi akan lebih besar daripada saat musim hujan, sehingga  $DIC \geq WIC$ . Koefisien infiltrasi berkisar antara 0,5 – 0,9 dan ditentukan dengan cara coba ulang.

Sisa dari *water surplus* yang tidak terinfiltrasi akan menjadi *run off*. *Direct run off* (DRO) merupakan gabungan antara limpasan permukaan dan aliran antara (*interflow*).

$$DRO_i = WS_i - I_i \quad (11)$$

Dengan  $DRO_i$  adalah *Direct run off* atau limpasan langsung (mm/bln).

Pada bulan dengan  $WS = 0$ , sejumlah kecil limpasan langsung terjadi saat hujan deras. Akan tetapi besarnya *Storm run off* (SRO) ini hanya beberapa persen saja dari hujan (5 – 10%). SRO akan mewakili besarnya DRO di saat WS pada bulan tersebut = 0.

Dalam perhitungan *water balance*, hujan ( $P_i$ ) harus dikurangi dengan *storm run off* ( $SRO_i$ ) terlebih dahulu sebelum dikurangi dengan evapotranspirasi aktual untuk mendapatkan *excess rainfall* ( $ER_i$ ). Adapun persamaan perhitungan ER menjadi seperti di bawah ini.

$$ER_i = (P_i - SRO_i) - AET_i \quad (12)$$

Ada beberapa kemungkinan nilai  $WS = 0$ , di antaranya adalah jika hujan, P kecil, sehingga menyebabkan ER bernilai negatif. P besar, nilai ER positif, akan tetapi besarnya tampungan air dalam tanah, SS sama dengan ER sehingga ER akan cenderung mengisi tampungan tanah terlebih dahulu.

### Aliran dasar

Pembentuk aliran dasar adalah komponen (a) *ground water storage* (GWS) dan (b) *baseflow* (BF). *Ground Water Storage* atau tampungan air tanah merupakan jumlah atau volume air tanah yang berada di lapisan kenyang air/*akuifer* dan dihitung dengan Persamaan (13).

$$GWS_i = 0,5(1+k)I_i + kGWS_{i-1} \quad (13)$$

Dengan  $GWS_i$  volume air tanah pada bulan ini (mm/bln),  $GWS_{i-1}$  adalah volume air tanah pada bulan sebelumnya (mm/bln),  $k = q_t/q_0$  adalah faktor resesi air tanah (-) yang merupakan perbandingan antara aliran air tanah pada bulan ini,  $q_t$  dan bulan sebelumnya,  $q_0$ .

Faktor resesi air tanah dipengaruhi oleh sifat geologi dari daerah aliran sungai (DAS). Penentuan nilai  $k$  dapat menggunakan kurva resesi dari pencatatan hidrograf debit sungai saat musim kemarau atau dapat juga dengan cara coba ulang dengan asumsi nilainya selalu konstan sepanjang waktu.

*Baseflow* atau aliran dasar merupakan aliran air tanah yang akan mengisi sistem jaringan sungai. Ketika musim kemarau, saat tidak ada hujan, pada suatu sistem sungai akan terjadi pengatusan *akuifer* yang menyebabkan adanya aliran secara tetap dan menerus.

$$BSF_i = I_i - (GWS_i - GWS_{i-1}) \quad (14)$$

Dengan  $BSF_i$  adalah *Baseflow*, selisih antara  $GWS$  bulan ini,  $GWS_i$  dengan  $GWS$  bulan sebelumnya,  $GWS_{i-1}$  disebut sebagai perubahan tampungan atau volume air tanah,  $\Delta S$ .

### Aliran sungai

Besarnya aliran di sungai merupakan kontribusi dari aliran limpasan langsung (DRO), aliran dasar (BSF), dan aliran saat hujan deras atau SRO (jika ada) dengan persamaan berikut.

$$TRO = DRO + BSF + SRO \quad (15)$$

Sedangkan debit aliran sungai dihitung dicari dengan persamaan di bawah ini.

$$Q_{cal} = \frac{A \times TRO \times 1000}{H \times 24 \times 3600} \quad (16)$$

Dengan  $Q_{cal}$  adalah debit limpasan dihitung ( $m^3/s$ ),  $TRO$  adalah total *runoff* (mm/bln),  $A$  adalah luas DAS ( $km^2$ ),  $H$  adalah jumlah hari dalam satu bulan perhitungan.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Lokasi Studi

Penelitian ini menggunakan tiga DAS yang ada di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, yaitu DAS Bedog, DAS Winongo, dan DAS Code.

### Perhitungan Hujan rata-rata DAS

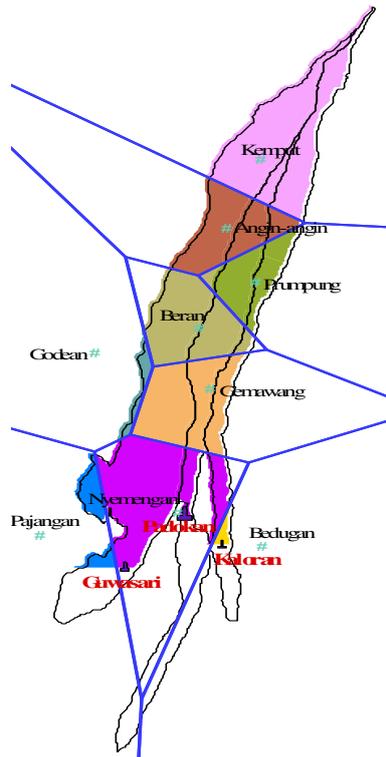
Metode perhitungan hujan rata-rata DAS menggunakan metode Poligon Thiessen dengan bantuan *software* ArcGIS. Mengingat ketiga DAS studi letaknya berdekatan, maka dalam peniruan DAS dalam *software* ArcGIS, ketiga DAS digabungkan. Hal ini mempermudah juga dalam pengeplotan koordinat stasiun hujan dan meminimalisir plotting stasiun hujan yang bergeser karena ketiga DAS memiliki beberapa stasiun hujan yang sama. Secara keseluruhan digunakan 9 stasiun hujan yang lokasinya dapat dicermati pada Gambar 3. Dalam Gambar 3 juga terdapat lokasi stasiun AWLR untuk keperluan data debit terukur, yaitu stasiun Guwasari (DAS Bedog), stasiun Kaloran (DAS Code), dan stasiun Padokan (DAS Winongo).

### Perhitungan Evapotranspirasi acuan, $ET_0$

Dalam penelitian ini dipakai pedoman FAO terbaru yaitu *FAO Irrigation and Drainage Paper No.56* Tahun 1990. Pedoman ini menggantikan *FAO Irrigation and Drainage Paper No.24* Tahun 1977. Metode FAO Penman-Monteith seperti dalam Persamaan (1) direkomendasikan sebagai satu-satunya metode standar untuk perhitungan  $ET_0$  karena mampu memprediksi  $ET_0$  dengan tepat di berbagai lokasi dengan variasi kondisi klimatologi yang berbeda-beda serta untuk kasus ketersediaan data dalam rentang waktu yang pendek. Karena keterbatasan data, ketiga DAS menggunakan data dari stasiun klimatologi yang sama, yaitu stasiun klimatologi Barongan. Hal ini dapat diterima karena lokasi stasiun Barongan berada di tengah-tengah ketiga DAS tersebut.

### Perkiraan nilai *exposed surface* (m)

Tata guna lahan di ketiga DAS diasumsikan merupakan daerah ladang pertanian, sehingga nilai  $m$  berkisar antara 30-50%. Nilai  $m$  mengalami kenaikan secara linier pada bulan-bulan kering (jumlah hari hujan,  $n < 5$  hari). Di bulan lembab ( $n = 5-8$  hari) nilai  $m$  cenderung konstan. Sementara saat bulan basah ( $n > 8$  hari) setelah musim kemarau, nilai  $m$  menurun setiap bulannya. Adapun variasi nilai  $m$  tiap bulan mengikuti Tabel 2.



**Gambar 3.** Lokasi stasiun hujan, stasiun AWLR, dan Poligon Thiessen ketiga DAS studi

**Tabel 2.** Nilai *exposed surface* (m) tiap bulan untuk daerah pertanian

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nov	Des
m (%)	30	30	30	35	40	40	45	45	50	45	40	35

(Sumber: Mock, 1973 dengan penyesuaian)

**Tabel 3.** Pola tanam sistem golongan A (Padi-Padi-Palawija)

	Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun		Jul		Ags		Sep		Okt		Nop		Des	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Golongan A (awal nopember)	Padi MT I				Padi MT II								Palawija								Padi MT I			

(Sumber: dalam Sidharta, 1997)

### Perkiraan nilai $K_c$

Nilai  $K_c$  diperkirakan untuk dua jenis tanaman, yaitu padi dan palawija (jagung). Skema pemberian air sistem golongan menggunakan golongan A dengan pola tanam padi-padi-palawija seperti pada Tabel 3. Variasi nilai  $K_c$  dilihat untuk setiap tahap pertumbuhan tanaman, yang meliputi tahap awal (*initial*), tahap perkembangan (*crop development*), tahap pertengahan musim (*mid-season*), dan tahap akhir musim (*late season*). Besarnya nilai  $K_c$  tiap tahap, lama tahap pertumbuhan, dan tinggi

maksimum tanaman dapat dilihat pada Tabel 4. Sedangkan Tabel 5 menunjukkan pola tanam dalam satu tahun dengan penjabaran rentang waktu setiap tahap pertumbuhan. Gambar 4 dan Gambar 5 merupakan hasil perhitungan nilai  $K_c$  untuk seluruh tahap pertumbuhan berturut-turut untuk jenis tanaman padi dan jagung. Mengacu pada Gambar 4 dan Gambar 5, nilai  $K_c$  ini diambil dari Tabel 4.  $K_{c\ mid}$  dan  $K_{c\ end}$  berturut-turut dihitung dengan Persamaan (5) dan (6).

**Tabel 4.** Nilai  $K_c$  tiap tahap, lama tahap pertumbuhan, dan tinggi maksimum tanaman

		Padi	Palawija (jagung)
Lama tahap pertumbuhan (hari)	Tahap awal ( <i>initial</i> ), $L_{ini}$	25	20
	Tahap perkembangan ( <i>crop development</i> ), $L_{dev}$	25	35
	Tahap pertengahan musim ( <i>mid-season</i> ), $L_{mid}$	45	40
	Tahap akhir musim ( <i>late season</i> ), $L_{late}$	25	25
Koefisien tanaman, $K_c$	$K_{c\ ini}$	1,05	0,3
	$K_{c\ mid}$	1,2	1,2
	$K_{c\ end}$	0,9 – 0,6 (diambil 0,75)	0,6 – 0,35 (diambil 0,475)
Tinggi maksimum tanaman, $h$ (m)		1	2

(Sumber: Allen et.al, 1990)

**Tabel 5.** Periode tanam untuk setiap tahap pertumbuhan tanaman

**Padi MT I**

bln Nop'93	tgl 1 - 25	<i>initial stage</i>
bln Nop	tgl 26 - 30	<i>crop development</i>
bln Des	tgl 1 - 20	

bln Des'93	tgl 21 - 31	<i>mid season</i>
bln Jan'94	tgl 1 - 31	
bln Feb	tgl 1-3	

bln Feb	tgl 4-28	<i>late season</i>
---------	----------	--------------------

**Padi MT II**

bln Mar'94	tgl 1 - 25	<i>initial stage</i>
bln Mar	tgl 26 - 31	<i>crop development</i>
bln Apr	tgl 1 - 19	

bln Apr	tgl 20 -30	<i>mid season</i>
bln Mei	tgl 1 - 31	
bln Jun	tgl 1 - 3	

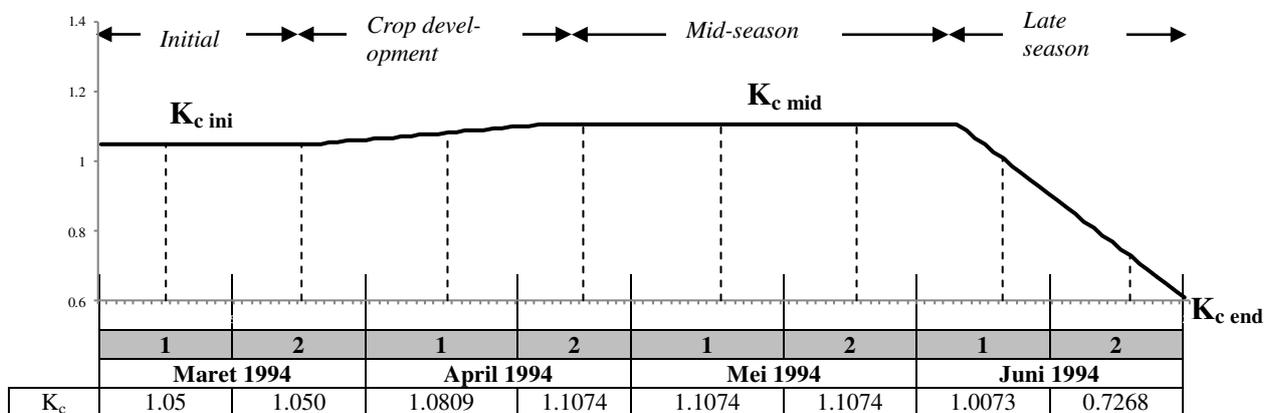
bln Jun	tgl 4 - 28	<i>late season</i>
---------	------------	--------------------

**Palawija**

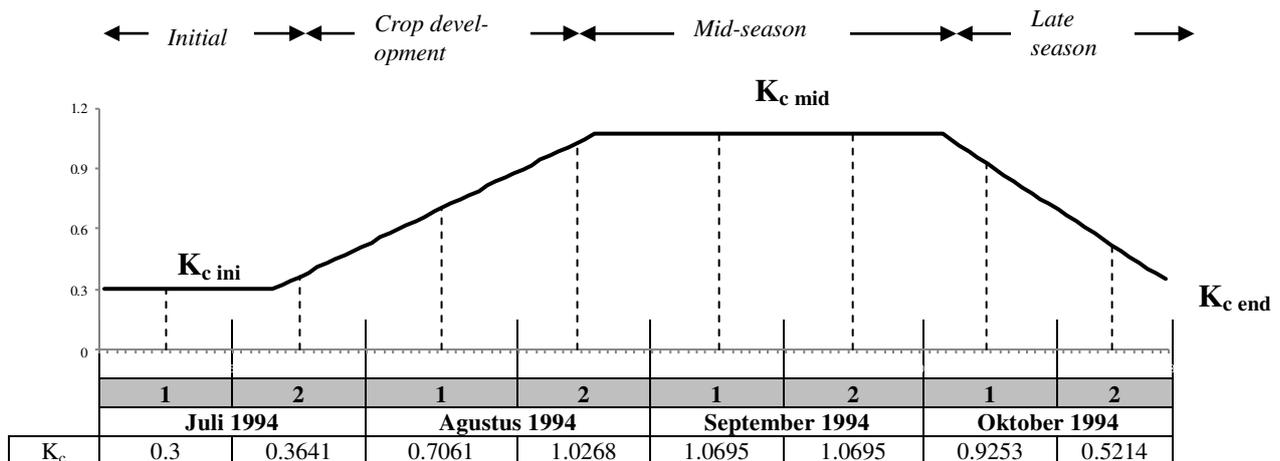
bln Jul'94	tgl 1 -20	<i>initial stage</i>
bln Jul	tgl 21 - 31	<i>crop development</i>
bln Ags	tgl 1 - 24	

bln Ags	tgl 25 -31	<i>mid season</i>
bln Sep	tgl 1 - 30	
bln Okt	tgl 1 -3	

bln Okt	tgl 4 - 28	<i>late season</i>
---------	------------	--------------------



**Gambar 4.** Grafik nilai  $K_c$  tanaman Padi MT II tiap tahap pertumbuhan



Gambar 5. Grafik nilai  $K_c$  tanaman Palawija tiap tahap pertumbuhan

### Analisis neraca air Model Mock

Tahapan analisis Model Mock dibagi menjadi dua: (a) Tahap kalibrasi, merupakan tahap awal untuk mendapatkan nilai optimal dari parameter-parameter Model Mock yang belum diketahui dengan bantuan *Solver* dalam Microsoft Excel. (b) Tahap verifikasi, merupakan tahap untuk mengevaluasi model terkait tingkat ketidakpastian model dalam memprediksi proses hidrologi. Pada umumnya verifikasi dilakukan menggunakan data di luar periode data untuk kalibrasi dan parameter inputnya merupakan parameter hasil kalibrasi. Karena keterbatasan data, ketiga DAS studi menggunakan rentang tahun data yang berbeda dan dapat dicermati dalam Tabel 6.

### Uji ketelitian model

Hasil simulasi debit perlu diuji ketelitiannya dengan debit terukur menggunakan parameter koefisien korelasi (R), selisih volume (VE), dan koefisien efisiensi (CE). Koefisien korelasi (R) menunjukkan besarnya keterkaitan antara nilai terukur dengan hasil hitungan. Selisih volume (VE) merupakan perbedaan volume hitungan dan terukur. Koefisien efisiensi (CE) menyatakan nilai yang menunjukkan efisiensi model terhadap debit terukur dan merupakan cara obyektif yang paling baik di dalam mencerminkan kecocokan hidrograf secara keseluruhan. Kriteria nilai masing-masing parameter dirangkum dalam Tabel 7.

Tabel 6. Rentang tahun data tiap tahapan analisis neraca air

Keterangan	DAS Bedog	DAS Code	DAS Winongo
Rentang data kalibrasi	2001-2003	1994-1996	1994-1996
Rentang data verifikasi	2004-2005	1997-1998	1997-1998
Penyajian data	dua mingguan	dua mingguan	bulanan

Tabel 7. Parameter ketelitian model

Parameter	Range nilai	Kriteria	Persamaan
Koefisien korelasi (R)	0,7 – 1,0	Korelasi tinggi (derajat asosiasi tinggi)	$R = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - Q_{cal_i})^2)}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - \bar{Q})^2}}$
	0,4 – 0,7	Korelasi sedang (ada hubungan substansial)	
	0,2 – 0,4	Korelasi rendah	

Parameter	Range nilai	Kriteria	Persamaan
	0 – 0,2	Diabaikan	dengan: $Q_{obs_i}$ = debit terukur ( $m^3/s$ ) $Q_{cal_i}$ = debit terhitung ( $m^3/s$ ) $\bar{Q}$ = debit terukur rerata ( $m^3/s$ ) $N$ = jumlah data
Selisih volume (VE)	-5% < VE < 5%	Unjuk kerja tinggi	$VE = \left  \frac{\sum_{i=1}^N V_{cal_i} - \sum_{i=1}^N V_{obs_i}}{\sum_{i=1}^N V_{obs_i}} \right  \times 100\%$
	Selain nilai di atas	Unjuk kerja rendah	
Koefisien efisiensi (CE)	> 0,75	Sangat efisien	$CE = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - Q_{cal_i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - \bar{Q})^2} \right]$
	0,36 – 0,75	Cukup efisien	
	< 0,36	Tidak efisien	

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perbandingan Perhitungan Evapotranspirasi Aktual Persamaan I dan II

Perhitungan evapotranspirasi aktual Persamaan I (AET) memerlukan perkiraan nilai *exposed surface* (m) dan jumlah hari hujan (n). Besarnya m tergantung dari kondisi daerah dan musim. Tata guna lahan ketiga DAS didominasi oleh daerah ladang pertanian di mana nilai m relatif kecil saat musim tanam yang jatuh pada bulan basah dan akan bernilai maksimum saat bulan kering. Semakin besar nilai m, maka evapotranspirasi akan menurun. Hal ini sesuai dengan teori yaitu daerah yang tidak ditutupi tumbuhan hijau akan memiliki evapotranspirasi yang sangat kecil. Evapotranspirasi aktual menggambarkan besarnya evapotranspirasi terutama saat musim kemarau. Saat bulan tanpa hujan (n=0) dan ketika besarnya m maksimal, nilai E (Persamaan 2) menunjukkan adanya evaporasi residu dari permukaan tanah yang kering dengan jumlah yang cukup signifikan, yaitu 40-50% dari nilai evapotranspirasi acuannya (ET<sub>o</sub>). Jadi, semakin besar nilai E, besarnya evapotranspirasi aktual (AET) akan semakin kecil mengingat AET merupakan selisih antara ET<sub>o</sub> dengan nilai E. Secara umum, saat bulan kering dengan proporsi m meningkat dan n relatif kecil, nilai evapotranspirasi cenderung kecil. Sebaliknya, saat bulan basah

di mana n relatif besar dan proporsi m menurun, maka nilai evapotranspirasinya meningkat. Jika dibandingkan dengan besarnya curah hujan, di bulan kering, besarnya AET bisa melebihi besarnya hujan, sementara di bulan basah, nilai keduanya relatif sama.

Perhitungan evapotranspirasi aktual Persamaan II (ET<sub>c</sub>) membutuhkan nilai koefisien tanaman (K<sub>c</sub>) sebagai pembobot. Sehingga besar kecilnya evapotranspirasi aktual bergantung pada nilai K<sub>c</sub> pada saat itu. Nilai K<sub>c</sub> bersifat spesifik untuk setiap tanaman (padi dan jagung) dan setiap tahap pertumbuhan tanaman (tahap awal, tahap perkembangan, tahap pertengahan musim, dan tahap akhir musim). Nilai K<sub>c</sub> juga dipengaruhi oleh kondisi iklim wilayah (iklim lembab atau iklim kering) dan faktor klimatologi yang meliputi kelembaban relatif minimum rata-rata harian (RH<sub>min</sub> rata-rata) dan kecepatan angin rata-rata harian pada ketinggian 2 m (u<sub>2</sub> rata-rata). Suatu daerah termasuk beriklim lembab jika kelembaban relatifnya tinggi namun kecepatan anginnya rendah. Sebaliknya, daerah beriklim kering jika kecepatan anginnya tinggi namun kelembaban relatifnya rendah. Berdasarkan pedoman FAO No.56/1990, syarat iklim lembab adalah nilai u<sub>2</sub> di bawah 1 m/s dan nilai kelembaban relatif minimum RH<sub>min</sub> berkisar antara 45-70%. Sedangkan iklim kering memiliki nilai u<sub>2</sub> di atas 4 m/s dan nilai RH<sub>min</sub> lebih kecil dari 45%.

**Tabel 8.** Perbandingan nilai  $K_c$  di bawah kondisi iklim lembab dan iklim kering

Keterangan	Padi		Palawija	
	Iklim lembab	Iklim kering	Iklim lembab	Iklim kering
waktu tanam	musim tanam kedua (MT II), bulan Maret s.d. Juni 1994		bulan Juli s.d. Oktober 1994	
$u_2$ rata-rata	0,4819959	4	0,515923	4
RH min rata-rata	62	25	67	25
$K_{c\ ini}$	1,05		0,3	
$K_{c\ mid}$	1.1074215	1.31507569	1.0695148	1.3416748
$K_{c\ end}$	0.606667	0.86507569	0.3483767	0.6166748

■ Nilai asumsi

Hasil rekap data di stasiun klimatologi Barongan menunjukkan bahwa kondisi iklim di ketiga DAS adalah iklim lembab dengan nilai  $u_2$  rerata bulanan sebesar 0,359 m/s dan  $RH_{\min}$  rerata bulanan sebesar 71,867%. Tabel 8 di atas membandingkan nilai  $K_c$  untuk jenis tanaman padi dan jagung di bawah kondisi iklim lembab dan iklim kering. Dari Tabel 8 terlihat bahwa semakin kering daerahnya maka semakin besar nilai  $K_c$  nya. Variasi nilai  $K_c$  untuk setiap tahap pertumbuhan tanaman ditunjukkan oleh besarnya  $K_{c\ ini}$ ,  $K_{c\ mid}$ , dan  $K_{c\ end}$ . Pada tahap awal pertumbuhan tanaman, luas daun masih kecil, evapotranspirasi lebih didominasi penguapan dari tanah. nilai  $K_{c\ ini}$  akan tinggi jika tanah selalu lembab karena air irigasi dan curah hujan yang tinggi dan akan bernilai rendah ketika permukaan tanah kering atau saat musim kemarau. Hal ini terbukti dengan nilai  $K_{c\ ini}$  untuk tanaman padi lebih besar daripada  $K_{c\ ini}$  tanaman jagung karena musim tanam palawija (jagung) adalah saat musim kemarau. Untuk nilai  $K_{c\ mid}$  dipengaruhi oleh faktor klimatologi dan karakteristik tiap jenis tanaman, serta tinggi tanaman. Daerah beriklim kering dengan kecepatan angin yang tinggi dan kelembaban relatif (*humidity*) yang rendah, karakteristik tanamannya akan memiliki  $K_{c\ mid}$  yang lebih tinggi. Sebaliknya, iklim yang lembab dengan kecepatan rendah dan *humidity* tinggi akan memiliki nilai  $K_{c\ mid}$  yang rendah. Sedangkan nilai  $K_{c\ end}$  akan tinggi jika tanaman diairi secara berkala sampai pada waktu panen. Seperti halnya tanaman padi yang saat pertumbuhannya selalu mendapatkan suplai air yang cukup sehingga nilai  $K_{c\ end}$  nya cenderung tinggi dibandingkan  $K_{c\ end}$  untuk tanaman

jagung yang ditanam di saat musim kemarau dengan suplai air yang terbatas.

Perubahan nilai  $K_c$  di mulai dari awal musim tanam ( $K_{c\ ini}$ ) dan meningkat seiring dengan perkembangan tanaman. Nilai  $K_c$  mencapai maksimum di pertengahan musim ( $K_{c\ mid}$ ) dan pada bulan-bulan terakhir mendekati panen, nilai  $K_c$  menurun sampai pada nilai minimum ( $K_{c\ end}$ ). Kondisi minimum  $K_c$  di tahap akhir musim ini ditandai dengan tanaman yang menua dan layu.

### Hasil Optimasi Parameter Model Mock

Hasil analisis Model Mock dibedakan menjadi dua, yaitu Mock I dengan perhitungan evapotranspirasi aktual Persamaan I (AET) dan Mock II dengan perhitungan evapotranspirasi aktual Persamaan II ( $ET_c$ ). Beberapa parameter Model Mock belum diketahui nilainya sehingga perlu diperkirakan dengan cara coba ulang menggunakan *Solver*. Rekap hasil optimasi parameter Model Mock untuk ketiga DAS berturut-turut ditabelkan dalam Tabel 9, Tabel 10, dan Tabel 11.

Sebagian besar parameter Mock merupakan fungsi dari karakteristik fisik suatu DAS, yaitu kondisi porositas tanah (kemampuan tanah menyerap air), kemiringan daerah pengaliran, dan formasi geologi (tekstur dan struktur tanah) yang berpengaruh terhadap baik/tidaknya kondisi *akuifer*. Dari Tabel 9 dan Tabel 10 didapat besarnya koefisien infiltrasi WIC (musim hujan) dan DIC (musim kemarau) memiliki nilai yang sama. Jika  $DIC > WIC$ ,

maka kondisi tanah saat musim kemarau sangat kering yang memungkinkan terjadi infiltrasi yang lebih besar. Nilai ISM dan SMC tergantung dari porositas tanah dan kemampuan tanah menyimpan air. Semakin porus tanahnya, semakin besar volume pori di antara butir-butir tanah yang nantinya akan terisi air (kondisi jenuh). Sedangkan koefisien resesi air tanah (K) terkait dengan karakteristik simpanan suatu tampungan sungai. Jika dilihat dari gambar hidrograf pada sisi resesi (sisi turun), semakin besar nilai K, maka grafik sisi turunnya akan semakin panjang, yang berarti makin lama waktu yang dibutuhkan untuk pengatusan *akuifer*.

### Uji Ketelitian Model Mock

Hasil analisis Model Mock I dan Mock II direkap untuk kemudian dibandingkan nilai parameter statistik seperti dalam Tabel 7. Rekapitulasi hasil untuk Model Mock I dan Mock II pada tahap kalibrasi dan verifikasi disajikan dalam Tabel 12.

Hasil analisis Model Mock di DAS Bedog menunjukkan bahwa Mock II lebih baik karena nilai parameter statistik untuk tahap kalibrasi dan verifikasi sangat memuaskan, seperti koefisien korelasi  $R > 0,81$  (korelasi tinggi) dan

koefisien efisiensi  $CE > 0,66$  (cukup efisien). Meskipun besarnya selisih volume pada tahap verifikasi cukup besar yaitu  $VE = -14,273\%$  yang menunjukkan adanya penyimpangan antara volume terukur dengan volume terhitung.

Hasil analisis Model Mock di DAS Code menunjukkan bahwa kedua Model Mock sama baiknya. Hal ini terlihat dari besarnya koefisien untuk masing-masing tahapan (kalibrasi dan verifikasi) di kedua model, yaitu Mock I dan Mock II mempunyai koefisien korelasi  $R > 0,80$ , selisih volume  $VE < 2,8\%$ , dan koefisien efisiensi  $CE > 0,65$ .

Hasil analisis Model Mock di DAS Winongo menunjukkan bahwa Mock II lebih baik. Hal ini terbukti dengan parameter ketelitian model menunjukkan nilai yang tinggi, antara lain koefisien korelasi sangat tinggi dengan  $R > 0,9$  di tahap kalibrasi, sedangkan di tahap verifikasi nilai  $R > 0,78$ . Besarnya selisih volume untuk tahap kalibrasi dan verifikasi cukup kecil yaitu  $VE \leq 5\%$ . Nilai koefisien efisiensi juga cukup tinggi di mana  $CE > 0,6$  untuk kedua tahap. Sementara untuk hasil Mock I, nilai koefisien efisiensi  $CE$  saat tahap verifikasi hanya sebesar 0,563 dan merupakan nilai  $CE$  terkecil untuk keseluruhan hasil simulasi di ketiga DAS studi.

**Tabel 9.** Hasil parameter Mock optimal DAS Bedog di stasiun AWLR Guwasari

No.	Parameter DAS	Satuan	Simbol	Hasil optimasi	
				Mock I	Mock II
1.	Luas DAS	km <sup>2</sup>	A	134.41	134.41
2.	Koefisien infiltrasi musim basah	-	WIC	0.593	0.590
3.	Koefisien infiltrasi musim kemarau	-	DIC	0.593	0.590
4.	<i>Initial Soil Moisture</i>	(mm)	ISM	172.296	171.468
5.	<i>Soil Moisture Capacity</i>	(mm)	SMC	172.296	171.468
6.	<i>Initial Groundwater Storage</i>	(mm)	IGWS	896.9566697	904.2585585
7.	Koefisien Resesi Air Tanah	-	K	0.987	0.985

**Tabel 10.** Hasil parameter Mock optimal DAS Code di stasiun AWLR Kaloran

No.	Parameter DAS	Satuan	Simbol	Hasil optimasi	
				Mock I	Mock II
1.	Luas DAS	km <sup>2</sup>	A	52.02	52.02
2.	Koefisien infiltrasi musim basah	-	WIC	0.770	0.751
3.	Koefisien infiltrasi musim kemarau	-	DIC	0.770	0.751
4.	<i>Initial Soil Moisture</i>	(mm)	ISM	10.000	67.988

No.	Parameter DAS	Satuan	Simbol	Hasil optimasi	
				Mock I	Mock II
5.	<i>Soil Moisture Capacity</i>	(mm)	SMC	89.486	110.778
6.	<i>Initial Groundwater Storage</i>	(mm)	IGWS	899.9876	989.9887
7.	Koefisien Resesi Air Tanah	-	K	0.992	0.992

**Tabel 11.** Hasil parameter Mock optimal DAS Winongo di stasiun AWLR Padokan

No.	Parameter DAS	Satuan	Simbol	Hasil optimasi	
				Mock I	Mock II
1.	Luas DAS	km <sup>2</sup>	A	63.60	63.60
2.	Koefisien infiltrasi musim basah	-	WIC	0.580	0.500
3.	Koefisien infiltrasi musim kemarau	-	DIC	0.633	0.526
4.	<i>Initial Soil Moisture</i>	(mm)	ISM	398.897	398.897
5.	<i>Soil Moisture Capacity</i>	(mm)	SMC	457.626	457.626
6.	<i>Initial Groundwater Storage</i>	(mm)	IGWS	798.6569	798.6562591
7.	Koefisien Resesi Air Tanah	-	K	0.952	0.933

**Tabel 12.** Rekapitulasi parameter ketelitian Model Mock I dan Mock II

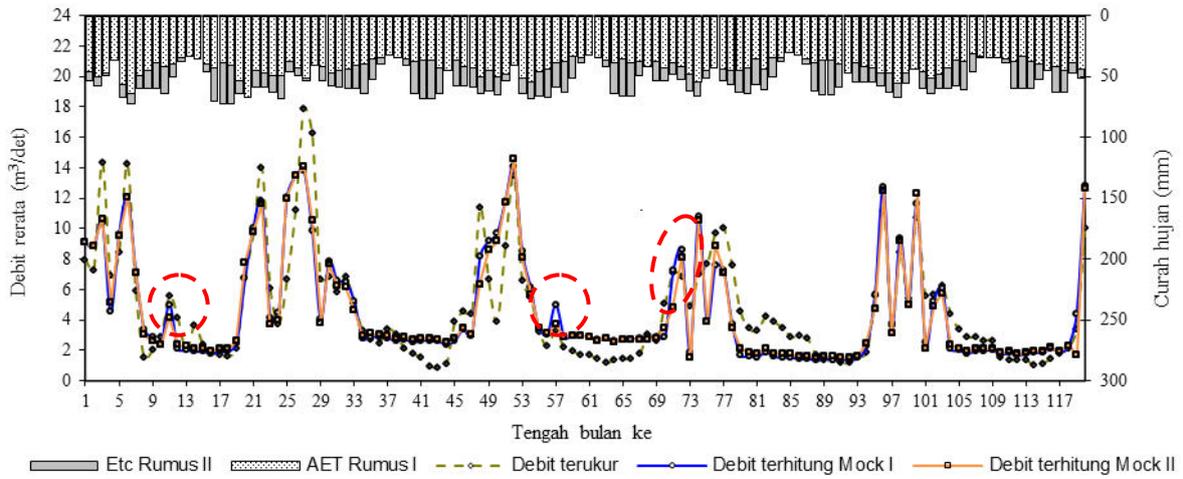
Parameter statistik	DAS Bedog		DAS Code		DAS Winongo	
	Mock I	Mock II	Mock I	Mock II	Mock I	Mock II
<b>Kalibrasi</b>						
Koefisien korelasi (R)	0.87665	0.88041	0.82433	0.83910	0.82318	0.92990
Selisih volume (VE)	5.000%	5.000%	2.574%	2.711%	7.469%	5.000%
Koefisien efisiensi (CE)	0.769	0.775	0.680	0.704	0.678	0.865
<b>Verifikasi</b>						
Koefisien korelasi (R)	0.80910	0.81424	0.83852	0.80787	0.75027	0.78211
Selisih volume (VE)	-14.130%	-14.273%	1.018%	-1.486%	-10.619%	-2.196%
Koefisien efisiensi (CE)	0.655	0.663	0.703	0.653	0.563	0.612

### Hasil Simulasi Debit Aliran

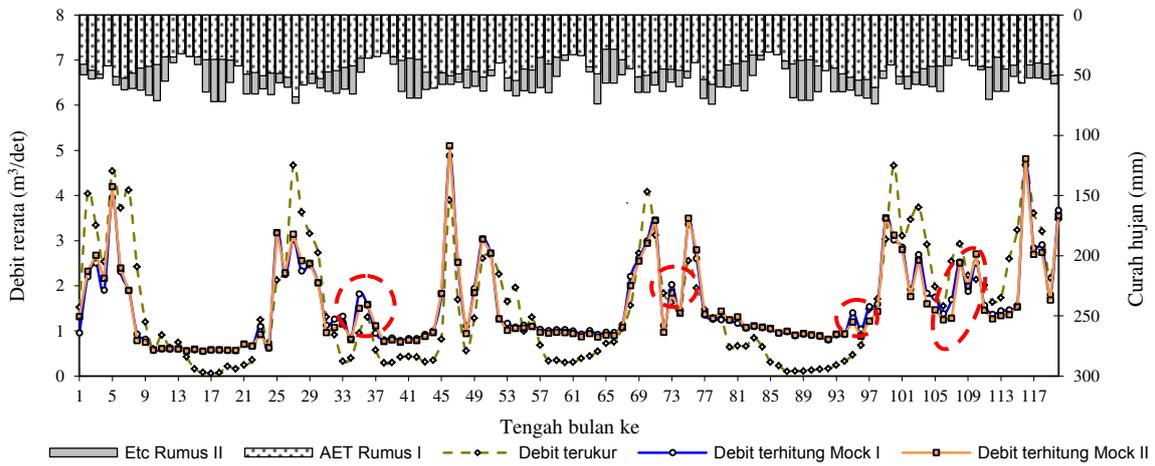
Kemampuan Model Mock dalam membangkitkan debit aliran dapat dilihat dari kemiripan hasil debit terhitung dengan debit terukur. Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 menunjukkan bahwa grafik debit terhitung untuk Mock I dan Mock II relatif berhimpit dengan grafik debit terukur dan memiliki pola yang sama. Kelemahan dari kedua Model Mock terletak pada ujung sisi resesi hidrograf yang relatif datar dengan perbedaan yang cukup signifikan terhadap grafik debit terukurnya.

Perbedaan hasil perhitungan evapotranspirasi aktual untuk kedua model mempengaruhi hasil perkiraan debit aliran karena evapotranspirasi aktual akan mengurangi besaran hujan yang

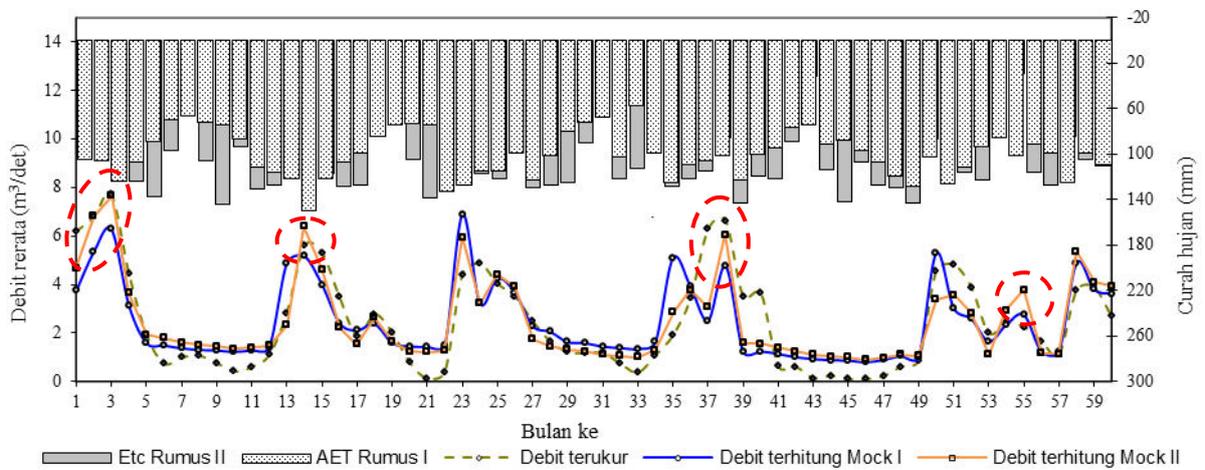
menjadi limpasan. Jika evapotranspirasi besar, maka besarnya debit akan berkurang, dan sebaliknya. Dari hasil simulasi di DAS Bedog dan DAS Code, besarnya evapotranspirasi aktual Persamaan I (AET) cenderung lebih kecil daripada Persamaan II (ET<sub>c</sub>), sehingga simulasi Mock I menghasilkan debit yang lebih tinggi daripada Mock II. Walaupun perbedaan hasil keduanya tidak terlalu besar, namun pada saat tertentu perbedaannya cukup mencolok yang ditandai dengan lingkaran terputus pada Gambar 6 dan Gambar 7. Sementara untuk DAS Winongo, pada bulan-bulan tertentu, besarnya AET lebih besar daripada ET<sub>c</sub>. Sehingga pada bulan-bulan tersebut, nilai debit terhitung Mock I lebih rendah daripada debit terhitung Mock II yang pada Gambar 8 ditandai dengan lingkaran terputus.



**Gambar 6.** Grafik debit aliran DAS Bedog di Guwasari Tahun 2001-2005



**Gambar 7.** Grafik debit aliran DAS Code di Kaloran Tahun 1994-1998



**Gambar 8.** Grafik debit aliran DAS Winongo di Padokan Tahun 1994-1998

## KESIMPULAN

Berdasar uraian hasil analisis ketiga DAS studi, secara umum hasil analisis Mock II lebih baik dari Mock I dan perhitungan evapotranspirasi aktual menggunakan Persamaan II ( $ET_c$ ) lebih baik daripada Persamaan I (AET).

Dari hasil rekapitulasi parameter ketelitian model, meskipun model mempunyai korelasi tinggi akan tetapi kesalahan volume masih dapat menyimpang yang terlihat dari hasil analisis untuk DAS Bedog. Hal ini dikarenakan koefisien korelasi pada prinsipnya merupakan angka yang menunjukkan kedekatan perilaku antara data terhitung dengan data sesungguhnya, sedangkan kesalahan volume dihitung berdasarkan selisih jumlah keseluruhan volume hitungan dengan volume terukur dibandingkan dengan jumlah volume terukur. Oleh karena itu antara koefisien korelasi dan kesalahan volume tidak ada hubungan linier.

Nilai parameter ketelitian model terbaik yang meliputi koefisien korelasi (R), selisih volume (VE), dan koefisien efisiensi (CE) untuk DAS Bedog berturut-turut adalah  $R = 0,88041$  (kalibrasi Mock II),  $VE = 5\%$  (kalibrasi Mock I dan Mock II), dan  $CE = 0,775$  (kalibrasi Mock II). Sehingga simulasi aliran di DAS Bedog lebih cocok menggunakan Model Mock II.

Nilai parameter ketelitian model terbaik yang meliputi koefisien korelasi (R), selisih volume (VE), dan koefisien efisiensi (CE) untuk DAS Code berturut-turut adalah  $R = 0,83910$  (kalibrasi Mock II),  $VE = 1,018\%$  (verifikasi Mock I), dan  $CE = 0,704$  (kalibrasi Mock II). Kedua model sama-sama mempunyai unjuk kerja yang baik. Akan tetapi Model Mock II lebih cocok diterapkan di DAS Code karena memiliki nilai R dan CE terbaik.

Nilai parameter ketelitian model terbaik yang meliputi koefisien korelasi (R), selisih volume (VE), dan koefisien efisiensi (CE) untuk DAS Winongo berturut-turut adalah  $R = 0,92990$  (kalibrasi Mock II),  $VE = -2,196\%$  (verifikasi Mock II), dan  $CE = 0,865$  (kalibrasi Mock II).

Sehingga simulasi aliran di DAS Winongo lebih cocok menggunakan Model Mock II.

Perbedaan hasil perhitungan evapotranspirasi aktual akan mempengaruhi hasil perkiraan debit aliran. Untuk DAS Bedog dan DAS Code, hasil perhitungan evapotranspirasi aktual Persamaan I (AET) cenderung lebih kecil daripada Persamaan II ( $ET_c$ ). Sementara untuk DAS Winongo, di bulan-bulan tertentu, hasil perhitungan evapotranspirasi aktual Persamaan I (AET) lebih besar daripada Persamaan II ( $ET_c$ ). Sehingga pada bulan-bulan dengan nilai AET yang lebih besar dari nilai  $ET_c$ , debit simulasi Model Mock I akan lebih rendah daripada Model Mock II. Sebaliknya, jika nilai AET lebih kecil dari nilai  $ET_c$ , debit simulasi Model Mock I akan lebih tinggi daripada Model Mock II.

## DAFTAR PUSTAKA

- Mock, F.J., 1973, *Land Capability Appraisal Indonesia. Water Availability Appraisal, Report Prepared for the Land Capability Appraisal Project*, Bogor-Indonesia.
- Nurrochmad, F., Sujono, J., dan Damanjaya, D., 1998, *Optimasi Parameter Model Hujan-Aliran Mock dengan Solver*, Media Teknik No.2. Tahun XX. Mei 1998.
- Allen, R.G., Luis, S.P., Dirk, R., and Martin, S., 1990, *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 "Guidelines for Computing Crop Water Requirements"*.
- Sidharta, S.K., 1997, *Irigasi dan Bangunan Air*, Universitas Gunadarma, Jakarta.
- Sukirno, Susanto, S., Haryono, S., dan Miming, N., 2010, *Recalculating Water Balance Of Cacaban Dam System*, 6<sup>th</sup> Asian Regional Conference of International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), Yogyakarta-Indonesia.
- Sri Harto. 2000. *Hidrologi, Teori, Masalah dan Penyelesaian*. Nafiri Offset. Yogyakarta.
- Direktorat Pengairan dan Irigasi Kementerian Negara Perencanaan Pembangunan Nasional, 2006, *Laporan Akhir Buku 2 Identifikasi Masalah Pengelolaan Sumber Daya Air di Pulau Jawa*.